



2/06

01. Dezember 2006

ISSN 1861-6364
(Printversion)

ISSN 1861-6372
(Internet-Version)

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

In dieser Ausgabe:

- Schnellzeitsimulation? – Herzlich willkommen!
- Towards Automation in Air Traffic Management
- Kopplung von Arrival- und Departure-Manager im Rahmen des Projektes K-ATM
- SOFIA – oder: wie können Sie sicher landen?
- Voice over IP Nutzung im ATM-Simulatorzentrum und im Bereich Tower der DFS
- Projekt MSP-DL: Ergebnisse der ersten Realzeitsimulation
- DTOP-Simulation bei TE



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Schnellzeitsimulation? – Herzlich willkommen!	2
Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Volker Heil, Dr. Matthias Poppe, Dr. Andreas Tautz Towards Automation in Air Traffic Management	3
Daniel Seidel, Dr. Rainer Kaufhold Kopplung von Arrival- und Departure-Manager im Rahmen des Projektes K-ATM	10
Andreas Udovic SOFIA – oder: wie können Sie sicher landen?	18
Andre Adrian, Christian Müller Voice over IP Nutzung im ATM-Simulatorzentrum und im Bereich Tower der DFS	21
Stephan Herr, Dr. Andreas Herber Projekt MSP-DL: Ergebnisse der ersten Realzeitsimulation.....	29
Oliver Haßa, Eliana Haugg DTOP-Simulation bei TE.....	35
Impressum.....	42

Druckdatum dieser Ausgabe: 01. Dezember 2006



Der Bereich F&E der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ist nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

Schnellzeitsimulation? – Herzlich willkommen!

Es ist etwas ungewöhnlich für diese Zeitschrift, ein nicht fachbezogenes Vorwort zu schreiben. Doch besondere Ereignisse, noch dazu besonders erfreuliche, rechtfertigen das.

Die Organisationseinheit, die bisher im Geschäftsbereich Luftfahrtmanagement Schnellzeitsimulationen durchgeführt hat, wird auf Beschluss der DFS-Geschäftsführung ab dem 01.01.2007 zum Bereich „Forschung und Entwicklung“ gehören. Im Vorfeld dieser organisatorischen Veränderung sind die 12 Arbeitsplätze zusammen mit dem Schnellzeit-Simulationsraum bereits Anfang Oktober 2006 aus der Unternehmenszentrale in das Forschungszentrum verlagert worden. Und deshalb für die neuen Mitarbeiter: Herzlich willkommen im Forschungszentrum!

Nachdem es anfänglich so aussah, als ob ein Umzug unmöglich wäre, zeigte sich nach einiger Diskussion eine äußerst erfreuliche Bereitschaft sowohl bei den Forschern, auf einen Teil des bisherigen CNS-Labors zu verzichten und es noch weiter zu komprimieren, als auch bei den Schnellzeitsimulationsexperten, mit veränderten Anordnungen der Simulationsarbeitsplätze bei reduzierter Nutzfläche vorlieb zu nehmen. Die Infragestellung von für unabdingbar gehaltenen Gegebenheiten, mit denen man so „wundervoll“ jegliche Veränderung blockieren könnte, und das (freiwillige!) Finden einer neuen, gemeinsamen und wirtschaftlicheren Lösung sind beispielhaft und genießen meine höchste Anerkennung! Nach der grundsätzlichen Bereitschaft der beiden unmittelbar beteiligten Abteilungen hätten fast die nötigen Umbaumaßnahmen alles unmöglich gemacht. Z. B. war ein mit Brandschutz begründeter neuer Laborzugang durch eine von Klima- und Kabelkanälen durchzogene Wand kein erfolversprechender, zumindest kein wirtschaftlich sinnvoller Ansatz. Doch zum Glück fanden sich auch beim Facility Management Mitarbeiter, die bereit waren, alles geschickt zu hinterfragen und so nicht zu Overkilllösungen, sondern zu wirklich angemessenen und kostengünstigen Maßnahmen zu kommen. Diese lagen fast bei einem Zehntel der ursprünglich geschätzten Kosten und waren auch viel rascher umsetzbar. Und schließlich haben die Beteiligten auch vom Ergebnis her die naturgemäß aufflackernden Emotionalitäten gut beherrscht. Insgesamt ein äußerst erfolgreiches Veränderungsprojekt mit Vorbildcharakter!

Auch wenn die Schnellzeitsimulation erst ab Anfang 2007 zu TE gehören wird, so hat sich doch längst an vielen Beispielen gezeigt, dass die räumliche Zusammenführung von Real- und Schnellzeit-„Simulanten“ – wie wir die Kolleginnen und Kollegen im Jargon meist bezeichnen – fast automatisch eine Reihe nützlicher Informationen, ja Erkenntnisse hin und her transportiert. Dass es auch bereits zu einer erfolgreichen Querbewerbung gekommen ist, muss ich nun wahrlich mit einem lachenden und einem weinenden Auge sehen. Was zusammen gehört, wächst zusammen. Wie schon verschiedene Vorhaben in der Vergangenheit gezeigt haben, ergänzen sich Schnell- und Realzeitsimulation einander und können aufeinander aufbauen, da ihre Stärken in unterschiedlichen Bereichen liegen. Beide haben DFS-intern und extern zum Teil ähnliche Kunden und genießen beachtliche Anerkennung. Und die soll noch steigen, , weil in Zukunft noch mehr Kompetenz aus einer Hand angeboten werden kann. Was extern gerne aufgenommen wird, wird intern nicht immer „akzeptiert“: Denn wer noch mehr Kompetenz vereint, kann natürlich auch mit noch mehr Nachdruck auf Verbesserungspotenziale hinweisen, diese aber auch noch besser bewerten und ihre Umsetzung begleiten. Und so haben wir nun eine gemeinsame Hoffnung: Dass nämlich unsere DFS-internen Kunden in Zukunft unsere Optimierungs- und Entscheidungsunterstützung noch stärker einfordern und nutzen mögen.

Dr. Volker Heil

Towards Automation in Air Traffic Management

Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Volker Heil, Dr. Matthias Poppe, Dr. Andreas Tautz

Vorwort

Der folgende Text ist das Manuskript zu einem Vortrag auf dem "EUROCAE Technical Forum" am 8./9.6.2006 in Lissabon¹. Der Titel des Forums war "Air Transport - Sustainability versus Profitability versus Growth". Nachdem in Session I „The Challenges“ dargestellt worden waren, ging es in Session II um das Thema „Meeting Challenges“.

Der Beitrag beleuchtet die herausragenden Chancen des Luftverkehrs (Nachhaltigkeit, Rentabilität und Wachstum) aus der Sicht eines Anbieters von Luftverkehrskontrolldiensten, natürlich mit Anlehnung an Aspekte aus dem Bereich Forschung & Entwicklung. Es wird erläutert, dass eine bemerkenswerte Asymmetrie der Kontrollphilosophie zwischen Bord und Boden besteht, die mit einer zunehmenden Standardisierung² von Prozessen und Systemen verringert werden kann (muss?). Dies kann zu mehr Automatisierung im Luftverkehrs-Management führen und wesentliche Beiträge zur Erfüllung der Herausforderungen liefern.

Introduction

The theme of this forum, sustainability, profitability and growth of air transport is in itself very challenging. It is now my turn to present the view of an air navigation service provider on how to meet the challenges. Since I am in charge of research and development (R&D) of DFS I shall take the opportunity to add some R&D. However, I shall not talk about spectacular paradigm changes or revolutions, as R&D people sometimes like to do. Rather I shall focus on a simple and realistic step into a better future. And although I shall give several examples of DFS most of my talk applies to other air navigation service providers as well. - After some general

viewpoints I shall explain why major improvements are difficult and how to improve the situation through standardization and automation. Standardization here includes both airborne and ground aspects. And this means involvement of EUROCAE.

Meeting challenges in air traffic management

I would like to start with a word of caution. In air traffic management (ATM) it is not always obvious what the real challenges are and how we can parry them. There is no doubt that the high level challenges of the theme of this forum exist. But as soon as you try to decompose them, bring them down from the strategic level to an operational level I had to learn during the past decade that it is hard to identify the real problems and to find real solutions to these problems in ATM. Therefore most of the R&D work of DFS is about validation and evaluation. But let us forget R&D for a moment.

Meeting challenges: General viewpoints

It is obvious that ATM needs political decisions (including regulation and standardization). Challenges that need support in this field e. g. from the European Commission or ICAO are the fragmentation of the skies and the service provision as well as some traditional rules of air traffic control (ATC) such as "first come first served". The Single European Sky is a very good example and we hope that this will continue successfully. Further standardization - again EUROCAE involvement - of technical components, but also procedures and processes, regulatory aspects and market aspects including privatization must support such developments. The scene must be set to allow ATM to become a mature industry. However, we should not wait for the politicians to solve our problems.

There are a lot of ongoing, from the point of view of R&D less exiting, but nevertheless challenging changes that are really hard work. Of course, we listen to the airspace users and other stake-

¹ Die Folien für diesen Vortrag finden sich im F&E-Portal (Bereich Dokumentation, Nummer VT-2006-06)

² NB: Der Forumsveranstalter EUROCAE ist eine Standardisierungsorganisation

holders, ranging from airports and other air navigation service providers to aircraft industry, our suppliers, relevant research institutes and last but not least to the people concerned by air traffic. And we act in accordance with what we learn from them. Our route structure closely resembles direct connections, tries to reduce noise and the airspace is optimized again and again using simulations and other tools. Functional airspace blocks will offer further improvements. However, this is nothing new. The airspace controlled by the Maastricht centre, which includes some of the north-western German and Benelux upper airspace, is an old example – since 1972. Flexible use of airspace is also nothing really new for DFS. And we have a good tradition of civil-military co-operation since 1994. Harmonization of our ATC systems is in the final stage and will be completed by the end of this year. The operational concept, which is developed in close co-operation with European partners, foresees the removal of paper strips, the use of 4D profiles, data link and various aspects of collaborative decision making. By the way, CATMAC, the Co-operative Air Traffic Management Concept, which already proposed most of the presently fashionable cooperative aspects, dates back to a study in 1990 of the predecessor of DFS, the BFS. Finally, in the shorter term we generally managed to cope with the challenges: We started to reduce the number of our control centres and are clustering our towers. In spite of a strong traffic growth we had a record low of delays in 2005 and could reduce the user fees for 2006.

Nevertheless all these activities appear to be too slow. And we come closer to the limits of more traditional ways of optimization like airspace optimization or simply the incredible ingenuity of controllers. Moreover, we have to cope with the usual cycle that growth comes after investments, is followed by efficiency measures and reduced investments and then we are back to performance problems, yet at a higher level. What makes me really nervous is that there is no well-founded description - i. e. not just ideas - how to cope with the air traffic demand in 10 to 20 years from now from the point of view of ATM. On the other hand the airside evolution appears to be unrestricted. Should we hope that the missing sustainability of air traffic kills the demand? Can we learn more from the cockpit? Where is the blocking point?

Air vs. ground control philosophy and roles

It is now generally accepted that 4D trajectories will be a basic ingredient of future ATM. They clearly show the pilot's intent. But do they also represent the controller's intent? What about the information that the supporting information systems and the human operators have? The aircraft flies the 4D trajectory, but the controller controls the aircraft. In a modern glass cockpit the pilot flying, who is safety critical for the flight and responsible for the primary flight control, concentrates on decision making and monitoring. Tasks like planning and communication are carried out by the pilot non flying. On the ground, the executive or radar controller, who is safety critical for ATC, is not only monitoring the safety relevant processes, but in addition concentrates on communication as well as on short term planning and decision making. Summing up there is a mismatch between air and ground control philosophies. There is not enough symmetry or no common view and complementing procedures.

Just to give another example: There is nothing like an auto pilot in a ground system, not to speak of the flight management computer. Instead there are some support tools available and more are being introduced to reduce the work load. These tools are now the typical answer to the fact that already with today's traffic in the European core area the executive controller is in a critical load situation and is seen as a bottleneck for the needed capacity increase. And further partitioning of sectors arrives at its limits. However, introduction of tools has not lead to a significant positive change at the controller working position, mainly due to the following three reasons or critical issues:

- The implementation of additional tools is accompanied by additional communication overhead and additional need for interaction and monitoring. In today's working procedures there is no fair share of work between operator and system, but overhead is created to have an informed system.
- At its best these tools produced a few percent capacity increases each, when we evaluated complete systems under realistic conditions.
- The basis for most of the controller tools is the prediction of the 4D flight path, which is either updated through controller input or – as plan-

ned in the future – updated through data link from the aircraft's flight management system (FMS). Prediction accuracy of 4D profiles today is limited by controller clearances both with regard to type (e. g. climb, descend, turn) and time. Unfortunately, even accurate flight management system 4D profiles, if available from A/C, will not lead to the necessary prediction accuracy unless the controller's intent is integrated into the prediction process.

To overcome these problems we suggest automated support, not just new tools, to the controller working position. Routine tasks should be standardized and could then be stepwise transferred to interoperable system components to increase certainty or predictability. This can then be used to meet the overall challenges. To arrive at such a goal support from relevant regulation and standardization bodies like EUROCAE is needed.

Levels of Automation

By now I probably damaged the image of air traffic control completely. Traditionally ATC is considered as a highly automated area using very advanced technology. However, a formal classification of the current level of automation for today's ATC working procedures will result in level 1 out of 10 as classified in Sheridan's level of automation hierarchy [1]: "The Human does all planning, scheduling, optimizing etc. and turns tasks over to computer for merely deterministic execution". Here some room can be expected for improvements to decrease the task or even work load of the controller per flight. This could then be transformed into increased capacity, efficiency, productivity and safety.

Automation: Key concept

We investigated a new concept of automated support and system/operator task sharing for ATC working positions. It was in part developed within the Gate-to-Gate project funded by the European Commission. And it is available as input to SESAR. The concept is different from

1	The Human does all the planning, scheduling, optimizing etc. and turns tasks over to computer for merely deterministic execution
2	The Computer provides options, but the human chooses between them, plans the operations, and then turns task over to computer for execution
3	The Computer helps to determine options, and suggests one for use, which the human may or may not accept before turning task over to computer for execution
4	The Computer selects options and plans action, which the human may or may not approve, the computer can reuse options suggested by human
5	The Computer selects actions and carries out if the Human approves
6	The Computer selects options, plans and actions and displays them in time for the Human to intervene, and then carries them out in default if there is no Human input
7	The Computer does the entire task and informs the Human of what it has done
8	The Computer does the entire task and informs the Human only if requested
9	The Computer does the entire task and informs the Human if it believes the latter needs to know
10	The Computer performs the entire task autonomously, the Human must completely trust the Computer in all aspects of decision making

Fig. 1: Levels of Automation (Sheridan 1992, [1])

previous work on automation, e. g. PHARE (Programme for Harmonized Air Traffic Management Research in EUROCONTROL) in Europe and the activities of Heinz Erzberger and others of NASA in the USA. It tries to learn from experience with the glass cockpit and primarily wants to unburden or relieve human operators instead of just bringing them so-called support tools or technologies. The final implementation of the concept should enhance the level of automation to level 3 to 5 (as classified by Sheridan): "The Computer selects actions and carries out if the Human approves." The major ingredients are a direct consequence of what I said before and are summarized in the viewgraph. Please, note that we foresee a stepwise introduction of automation including a coexistence of sectors or systems with and without automation. As a consequence there will be no distinct transition. There will be one environment for different levels of automation. Only the way humans use their system will initiate a transition, forth and back (if necessary).

Automation: Trajectory

The DFS automation approach is based on a reorganisation of ATC tasks and ATC roles and on ATC 4D trajectories. These "ATC intent trajectories" are tailored to the needs of applications with enhanced accuracy in flight path prediction (not calculation). In a modern glass cockpit the 4D trajectory is the basis for any planning process since years. Modern ATM systems, like the VAFORIT system that DFS currently implements for the upper area control centre in Karlsruhe, rely on a ground 4D trajectory. And almost any new controller support tool, e. g. medium term

conflict detection (MTCD) and later resolution advisories, relies on this ground trajectory. To make these tools more useful data link and airborne trajectories as input data are often postulated. And for the time being this postpones the next step into the future. How to improve the situation?

To decompose the trajectory problem, the 4D trajectory can be split into the lateral trajectory and the vertical trajectory. As shown in Fig. 2, the trajectory is divided into 7 trajectory points (P1 to P7) with associated information for position (lat/long), altitude, speed and time. The trajectory points P4 and P6 indicate a turn manoeuvre, whereas trajectory point P2, P3 and P5 indicate a start of climb or start of descent manoeuvre.

As long as no ATC clearance is given the calculated and flown trajectories are very similar. Even with lateral clearances there will not be too many problems, since the positions (fixes) are generally well defined. However, for the vertical flight path the situation is different. In the aircraft FMS as well as in the ground system assumptions have to be made for the vertical manoeuvring points (P2, P3, P5). For example, the FMS or pilot has to define a point as top of descent (P5). Implicitly, he also defines the point in the trajectory, where the controller has to issue the associated clearance to him. But the probability that the FMS or the pilot estimates correctly the type and the time of the controller's decision and implementation is rather low. As the real flight path is influenced by the controller clearances the probability that the 4D FMS trajectory is in accordance with the real flight path is very low. The controller intent is by far the largest source of error in flight profile prediction. Any 4D trajectory which does not integrate aircraft specific points

and events as well as ATC related points and events into one single trajectory is not very useful within a co-operative ATM system.

Automation: ATC trajectory

Therefore the 4D ATC trajectory should integrate relevant information from already today existing trajectories (airborne and/or ground) and ATC specific information into one single object. The most important extension of the already known 4D trajectories is the ATC event. Each ATC event represents one ATC instruction with the associated influences on the 4D trajectory. Instructions may be initial calls, sector change messages, climb instructions or direct instructions. The 4D ATC trajectory could allow a stable planning and control horizon of 10-20 minutes. The full potential of the 4D ATC trajectory is developed with two further changes to today's system: a new system support and a new allocation of team roles and tasks.

To allow the ATC controllers to work on the ATC events and messages in an orderly and transparent manner we thought that it might be helpful to have an ATC event list. In a first step the display (no need to read the details of the view-graph) of a modern ATC system would then show the traditional radar display, possibly with enhancements due to more advanced functionality such as additional information on the aircraft labels and trajectory information, additional windows to support very advanced tools such as a problem display of the medium term conflict detection and the new ATC event list. This event list is a time-line (well known from sequencing tools in terminal areas) with possibilities to display, type, edit, acknowledge and monitor standardized messages or actions. An example for such

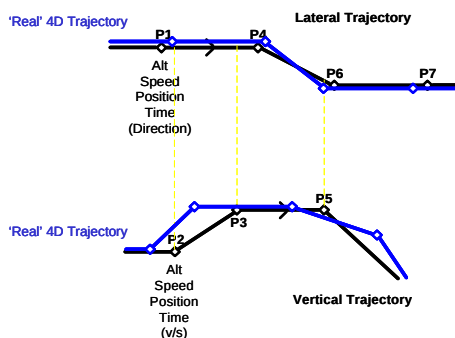
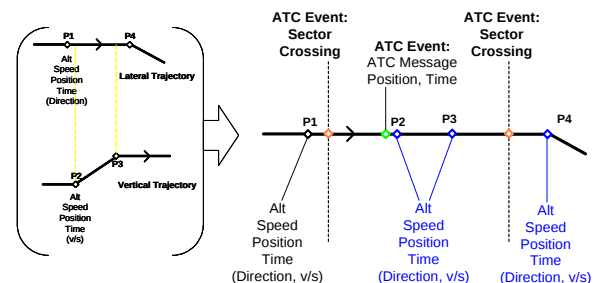


Fig. 2: Automation: Real 4D Trajectory



- Input from air and ground views
- Stepwise refined common binding plan for air traffic controllers, system and finally (clearance) pilot

Fig. 3: Automation: 4D ATC Trajectory

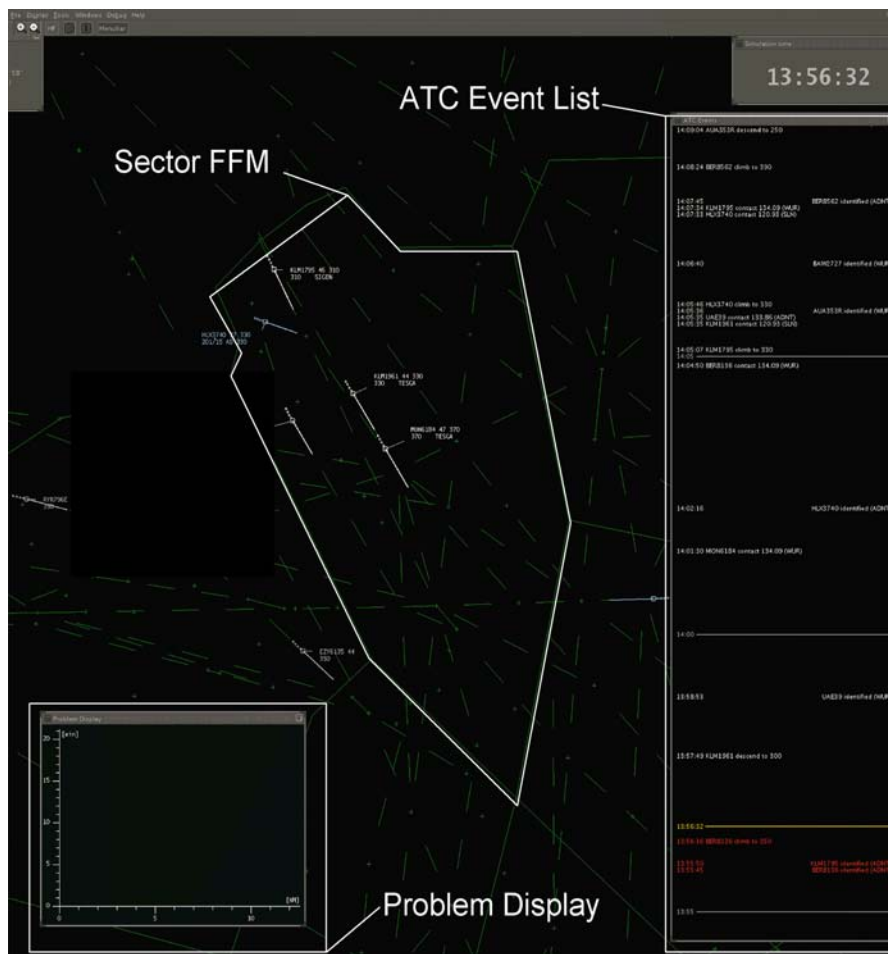


Fig. 4: Automation: Structure of a Prototype Controller Display

display is shown in Fig. 4.

Although it is possible to work with this list manually, this would produce overhead. On the other hand most if not all of the information will be available within the systems that are currently being implemented such as P1/VAFORIT or DFS. Therefore we think that the entries in the list should be generated and evaluated by the system and used by the controller.

This could be the entrance to automation. An ATC message generator (AMG) could support controllers through four essential features:

- Generating ATC events and establishing the 4D ATC trajectory
- Continuous cross-check of 4D ATC trajectories
- Generating ATC events for conflict resolution
- Rating and selecting ATC events for conflict resolution

We do not have the time to discuss all details here. But some general points should be noted.

The AMG does nothing that a controller could not do. But it makes use of existing information and makes unsolicited proposals. Both the planning and executive controller can work in a co-operative way with the same action list and even controllers of different sectors could see and possibly use the same list, if they apply structured and standardized decision making (as a tool would do automatically). So the list introduces transparency and allows a transition between sectors using AMG and not using it, i. e. entering everything by hand. At the same time concepts like a multi-sector planner could easily co-exist with single-sector planners. The list opens up for various kinds of team cooperation,

possibly including pilots, e. g. via data link.

Of course, when the time comes to execute an action, a controller – and this is now not necessarily the executive controller - has to act as planned in the action list. This restricts his freedom, but it ensures that 4D profiles are more stable. And some of the messages could be automatically transmitted via data link or issued via voice communication well in advance to aircraft or can be directly used for co-ordination of sectors or systems.

Obviously, many tools proposed for future systems could or even must be incorporated into this concept. MTCD is just one example. The difference would be that the predicted 4D trajectories used by these tools would be much more reliable now taking ATC events into account.

On the other hand you could still use manual input and no tools except the action list. And it can be used with or without further support in neighbouring sectors or adjacent systems, with or without data link and so on. So the transition

from automation level 1 to higher levels with such a simple support is no distinct transition. You simply use it up to a certain level or you do not! So the fall-back is also no problem. And you can use it with different working arrangements for the controller teams or different roles. This option could seriously relieve the increasing task load of today's executive controller and redistributes it to other controllers or automated system support.

Example from Gate-to-Gate

A first evaluation of a prototype was conducted early 2006, as a part of the Gate-to-Gate project, funded by the European Commission. I shall here confine myself to a brief overview. The chosen airspace was the Karlsruhe Upper Information Region, ranging from flight level 285 to unlimited. Four sectors with different automation levels and task distributions were simulated:

- Tango (TGO) sector, automation level 5-6, planning & conflict resolution by the system, clearances via data link in advance by the system
- Frankfurt (FFM) sector, automation level 4, planning & conflict resolution by the system, clearances via data link in time by the human
- Würzburg (WUR) sector, automation level 2-3, planning & conflict resolution by the system, clearances via voice by the human
- Söllingen (SLN) sector, automation level 0-1, planning & conflict resolution by the human with system support, clearances via voice by the human (today's way of control with executive and planning controller).

The sector load was about 80% of the maximum sector load, i.e. 30 to 40 aircraft entries per hour. The traffic could be handled successfully and with fewer controllers, at sector TGO most of the time without any operator.

First presentations were received with extreme distrust. The concept appeared to be too simple. But it worked. A first analysis, based on the debriefing sessions with the controllers and on the simulation questionnaires, indicated that indeed the workload of the executive controller in the automated sectors was reduced or even rather low. The system could always find solutions so that no intervention of the human was necessary for level 5 – 6. On the other hand, controller training may become an important issue, because they stated that it was sometimes difficult to maintain situational awareness. This is due to the algorithm of the AMG which is not always transparent to the controllers. However, it was obvious to some observers, that this could be a starting point for improvements beginning with today's systems and procedures to arrive with increasing standardization at an intermediate level of automation at the controller working position. The philosophy behind relieves some asymmetries between air and ground and provides a basis for many kinds of possible task redistributions including the transition problems. Finally, we think this could be valuable input to SESAR.

This kind of automation will also be a contribution to our major challenges.

Removing the bottlenecks on the ground will allow increasing capacity in major steps and thus enable growth. Higher productivity and efficiency through a rather simple kind of automation promises to deliver increased profitability, both for air

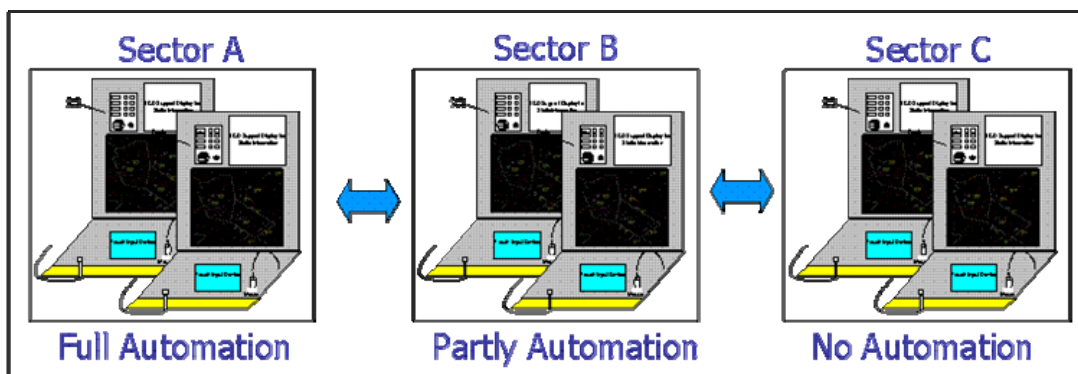


Fig. 5: Different levels of Automation in Gate-to-Gate Simulation

navigation service providers and airspace users. Moreover, automation will be the enabler for more complex procedures that cannot be handled very well by human operators. This will be necessary e.g. to support the “ultra green air transport system” considered to be the most challenging alternative within the Strategic Research Agenda and closely related to sustainability. And, last but not least, automation can increase safety.

Conclusion

So my conclusions are that automation in ATM looks promising, if introduced in a simple, but safe way. It needs standardization of processes and systems. It must be supported by a change of roles of humans and systems. And then we will have appreciable contributions to meeting the challenges.

References

[1] Sheridan, T.B.: Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control. Cambridge MA, USA: MIT Press, 1992

Kopplung von Arrival- und Departure-Manager im Rahmen des Projektes K-ATM

Daniel Seidel, SH, Dr. Rainer Kaufhold, TEA

1. PROBLEMSTELLUNG

Internationale Großflughäfen arbeiten heute bereits vielfach an der Kapazitätsgrenze und stellen einen gravierenden Engpass in der nachfragegerechten Abwicklung des Luftverkehrs dar. So können bereits kleine Störungen im betrieblichen Ablauf deutliche Auswirkungen auf die Pünktlichkeit nach sich ziehen. Durch die enge Umlaufplanung der Airlines ohne nennenswerte zeitliche Puffer im Umdrehprozess wirken sich die Verspätungen nicht nur lokal aus, sondern beeinflussen auch die Verkehrsabwicklung im Enroute-Bereich sowie andere Flughäfen.

Um die an einem Großflughafen verfügbaren Kapazitäten optimal auszunutzen wurden in der Vergangenheit bereits An- und Abflugplanungssysteme entwickelt, die die Lotsen bei der Zuflussteuerung des Verkehrs auf die Start- und Landebahnen unterstützen. So sind in der Strecken- und Anflugkontrolle verschiedener europäischer Großflughäfen seit einigen Jahren Arrival Manager (AMAN) in Betrieb, die Anflugsequenzen und Zielzeiten für die Metering Fixe und die Landebahnschwelle vorgeben. Derartige Systeme werden derzeit in Zürich (CALM, OSYRIS), Paris (Maestro) und Frankfurt (4D-Planer) eingesetzt. Für den abfliegenden Verkehr gibt es Departure Manager (DMAN), die die Tower- und Vorfeld-Lotsen bei der Führung des abfliegenden Verkehrs unterstützen sollen. Hier gibt es zur Zeit nur ein einziges operationell genutztes System das in Zürich eingesetzt wird (darts).

Um die Pünktlichkeit an den Großflughäfen weiter zu verbessern, wird im Rahmen des Forschungsprojektes K-ATM³ die Möglichkeit untersucht, die Ausnutzung der verfügbaren Runway-Kapazität durch eine integrierte Planung von an- und abfliegendem Verkehr weiter zu verbessern. Ziel der Kopplung von Arrival- und Departure Manager ist es, allen Beteiligten, wie Flugsicherung, Flughafenbetreiber und Fluglinien, genaue Informationen über den gesamten startenden und landenden Verkehr zur Verfügung zu stellen und damit die Prozesse der Verkehrsabwicklung noch enger aufeinander abzustimmen.

Im Rahmen des Projektes K-ATM wurde basierend auf dem Arrival Manager der DFS (4D-Planer) und dem Departure Manager der Firma Delair (darts) mit Beteiligung von Fraport der Prototyp eines gekoppelten AMAN/DMAN entwickelt und in Simulationen von Lotsen in Bezug auf die operationelle Nutzbarkeit bewertet.

In diesem Artikel wird das Konzept vorgestellt, mit dem ein Anflug- und ein Abflugplanungssystem gekoppelt und der gesamte Verkehr auf einer kombiniert genutzten Start- und Landebahn von beiden Systemen kooperativ geplant werden kann. Durch dieses Kopplung ist es möglich, im Anflugplanungssystem die Startzeiten für den abfliegenden Verkehr darzustellen und umgekehrt im Abflugplanungssystem die Landezeiten für den anfliegenden Verkehr. Ein weiterer Vorteil des neuen Verfahrens besteht darin, dass bereits vorhandene An- und Abflugplanungssysteme für die kooperative Planung verwendet werden können. So können bestehende Lösungen weiter genutzt werden, und es ist kein völlig neues System notwendig, um die Lotsen mit einer kooperativen Planung für den an- und abfliegenden Verkehr zu unterstützen.

2. 4D-PLANER, EIN ADAPTIVES ANFLUGPLANUNGSSYSTEM

Der 4D-Planer wurde im Rahmen des Kapazitätsentwicklungsplans für den Flughafen Frankfurt entwickelt und stellt eine innovative Lösung zur besseren Nutzung der Landebahnpkapazität dar. Das System ist speziell auf die Gegebenheiten des Flughafens Frankfurt zugeschnitten. Die parallelen Landebahnen des Flughafens Frankfurt können aufgrund des zu geringen Bahnabstandes nicht unabhängig betrieben werden und haben deshalb unter Wetterbedingungen, bei denen nur nach Instrumenten geflogen werden kann, die Kapazität eines Einbahnsystems.

Es werden vom 4D-Planer für jedes einzelne im Landeanflug befindliche Flugzeug zeitliche Vorgaben für den Überflug des Metering Fix und der Landebahnschwelle generiert. Diese Zielzeiten basieren auf einer Reihenfolgeplanung, in der die minimal zulässigen Separationen für die Landebahnschwelle realisiert sind. Es findet zusätzlich eine Optimierung der Bahnverteilung und Landereihenfolge nach Wirbelschleppenkategorien statt. Im ACC werden Teilreihenfolgen nach dem FCFS-Prinzip gebildet und passende Metering-Fix-Zielzeiten für die Übergabe an APP festgelegt. Die Bildung der Gesamtlandereihenfolge geschieht unter Beibehaltung der einzelnen Sektorreihenfolgen, d. h., Reihenfolgevertauschungen erfolgen in der Regel nur zwischen Flugzeugen aus unterschiedlichen Anflugrichtungen.

Das System ist adaptiv ausgelegt, so dass eine nicht planmäßige Führung des Anflugverkehrs erkannt und die Reihenfolge sowie gegebenenfalls die Zielzeiten angepasst werden. Daneben besteht für die Lotsen die Möglichkeit, ihre Absichten dem System über die Maus mitzuteilen, um deren Berücksichtigung zu erzwingen.

³ Das Projekt K-ATM (Kooperatives Air Traffic Management) setzt sich aus zusammen aus 11 Partnern (neben der DFS unter anderem beteiligt: delair, Fraport AG, Deutsche Lufthansa und Airbus) und wird von dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

2.1. Planungsphilosophie

Es werden vom 4D-Planer im ACC und APP geeignete Reihenfolgen und Zielzeiten für vorgegebene Überflugpunkte generiert. Im ACC sind dazu die Metering Fixe GED, PSA, OSAMAX und ROLIS für die zeitgenaue Übergabe an APP festgelegt. Der Zielpunkt der APP-Planung ist die Landebahnschwelle (THR). Die Ermittlung der Reihenfolge und der passenden Zielzeiten erfolgt auf der Basis geschätzter Flugzeiten (Estimates) von der jeweils aktuellen Flugzeugposition bis zu den Zielpunkten Metering Fix oder Landebahnschwelle. Bei der Berechnung der Estimates werden die Standardanflugwege zugrunde gelegt. Es wird die jeweils früheste (Earliest) und späteste (Latest) Ankunftszeit geschätzt. Die Bildung einer geeigneten Reihenfolge geschieht dann durch Festlegung von Zielzeiten für jedes einzelne Flugzeug unter Berücksichtigung ihrer geschätzten Earliest/Latest-Intervalle. Die anfangs festgelegte Reihenfolge wird mit fortschreitender Zeit ständig überprüft und gegebenenfalls an abweichende Entwicklungen im Verkehrsablauf angepasst (Update).

Durch die gemeinsame Planung für ACC und APP wird die Koordination zwischen diesen Kontrollstellen wesentlich verbessert. Da eine langsamere oder schnellere Abarbeitung des Verkehrsstroms durch APP die Zielzeiten für die ACC-Controller verschiebt, wird der Verkehr bereits im ACC bedarfsgerecht zurückgehalten bzw. nachgeschoben, so dass Überlastungen des APP bzw. Verkehrslücken so weit wie möglich vermieden werden. Eine weitere Koordinationshilfe ist durch die Anzeige der erwarteten Übergabehöhen in den Planungsanzeigen von ACC und APP gegeben, d. h., eine telefonische Übermittlung dieser Information entfällt.

Die Generierung und das Update von Reihenfolge und Zielzeiten wird in ACC und APP unterschiedlich gehandhabt. Im ACC werden die Zielzeiten so weit wie möglich stabil gehalten, um zu vermeiden, dass die ACC-Lotsen nach veränderlichen Vorgaben arbeiten müssen. Das Ziel der APP-Planung ist, die notwendige Adaptivität an die Lotsenführung bei gleichzeitig hoher Planstabilität zu erreichen. Deshalb soll eine Umplanung der Reihenfolge nicht zu früh erfolgen, um zu vermeiden, dass anschließend wieder eine Rückplanung in die alte Reihenfolge notwendig wird.

2.2. Planungsanzeige

Der 4D-Planer ist als Vorschlagssystem ausgelegt, d.h., er liefert den verantwortlichen Lotsen in ACC und APP Vorschläge für die Bildung der Sektor- bzw. Endanflugreihenfolge zusammen mit Zielzeiten am Metering Fix bzw. an der Landebahnschwelle. Es existieren unterschiedliche Planungsanzeigen für ACC und APP. Bei beiden erfolgt die Darstellung der vorgeschlagenen Reihenfolgen in Form von Labels auf einer entsprechenden Zeitleiter, so dass die jeweilige vertikale Position der Labels die vorgesehene Zielzeit angibt.

Die angezeigten Sequenzen und empfohlenen Überflugzeiten sind unter Berücksichtigung des FCFS-Prinzips für eine minimale Staffelnung an der Landebahnschwelle berechnet und stellen somit eine optimale Lösung auf der Basis geltender Standardverfahren und Staffelnungskriterien dar. Deswegen sollte der Lotse bestrebt sein, genau auf die vorgeschlagene Sequenz und die angezeigten Zielzeiten hinarbeiten. Für diesen Fall wird ein flüssiger Verkehrsablauf ohne Umplanungen der Reihenfolge garantiert. Es kann

lediglich zu marginalen Anpassungen der Zielzeiten kommen. Wenn sich der Lotse dagegen entschließt, den Verkehr auf eine andere Reihenfolge hinzuführen, reagiert das System zunächst nur mit Veränderungen von Zielzeiten. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wird das System dann erkennen, dass die alte Sequenz nicht mehr haltbar ist und deshalb eine Veränderung der Reihenfolge vornehmen. Es ist also durchaus zulässig, den Verkehr anders als vom 4D-Planer vorgeschlagen zu führen. Dabei ist es auch nicht erforderlich, dies dem System durch Eingaben mitzuteilen, da das System aus der Entwicklung des Verkehrsbildes erkennt, auf welche Sequenz der Lotse hin- arbeitet. Es ist aber einleuchtend, dass das System eine gewisse Zeit bzw. einen Fortschritt in der Verkehrsentwicklung benötigt, um zu erkennen, welche neue Reihenfolge plausibel ist.

2.3. Lotseneingaben

Ohne Eingaben durch den Lotsen muss das System selbstständig erkennen, welche Absichten der Lotse bei seiner Führung des Luftverkehrs verfolgt. Diese Erkennung kann naturgemäß erst verspätet erfolgen, da sie aus dem sich ergebenden Verkehrsbild abgeleitet werden muss. Es liegt deshalb nahe, eine Möglichkeit vorzusehen, wie der Lotse dem System im Voraus mitteilen kann, welche Sequenz bzw. welche Zielzeit er mit seinen Maßnahmen realisieren will.

Neben den gleichen Eingabemöglichkeiten wie im ACC werden im APP eine Reihe zusätzlicher Funktionen angeboten, mit denen der Lotse in die Planung eingreifen kann. Mit der Einstellung des sogenannten FLOW wird die gewünschte und in der Planung zu berücksichtigende Staffelnung für die Landebahnschwelle festgelegt. Damit wird zugleich der Zustrom des Verkehrs in die TMA geregelt: ein hoher FLOW-Wert drosselt den Zustrom, ein niedriger öffnet ihn. Der eingestellte Staffelnungswert (Default ist 3 NM) bezieht sich dabei nur auf die Flugzeuge, die nicht den erhöhten Kriterien der Wirbelschleppen-Staffelnung unterliegen (z.B. 4, 5 oder 6 NM). Bei guten Sichtbedingungen kann der Lotse in Absprache mit den beteiligten Piloten diese Flugzeuge auch unter 3 NM staffeln. Eine zusätzliche Einstellung des FLOW ist der sogenannte VMC-Modus, bei dem alle Flugzeuge ohne Beachtung ihrer WS-Gewichtsklasse mit 2 NM gestaffelt geplant werden.

2.4. Führungshinweise

Neben den Planungsergebnissen werden vom 4D-Planer auch Hinweise generiert, die die Lotsen dabei unterstützen sollen, durch geeignete Anweisungen an die Piloten die vorgeschlagene Reihenfolge herzustellen und die Flugzeuge pünktlich abzuliefern. Im ACC wird in der sogenannten Trendanzeige für jedes Luftfahrzeug der für das ÜbergabemF hochgerechnete Ablieferungsfehler angezeigt. Dieser soll den ACC-Lotsen dabei unterstützen, frühzeitig einzuschätzen, ob das Luftfahrzeug aufgrund des bisherigen Flugverlaufs voraussichtlich die geplante Überflugzeit am Metering Fix einhalten wird. Der Lotse kann auf der Basis der Trendinformation dann entscheiden, ob er noch korrigierend in den Flugverlauf eingreifen will, indem er z. B. ein verspätetes Luftfahrzeug beschleunigt oder ein verfrühtes verzögert. Die Trendanzeige im Label erfolgt durch einen farbigen Balken, der von rechts nach links wächst und die

gegenwärtige Verspätung (in Grün) oder Verfrühung (in Rot) bezüglich der geplanten Ablieferungszeit für das Metering Fix angibt. Im Idealfall ist zum Ablieferungszeitpunkt weder ein grüner noch ein roter Balken im Label zu sehen. Basis für die Berechnung dieser Trendanzeige ist die auf der identifizierten Anflugroute und der aktuellen Geschwindigkeit vorausgeschätzte Ankunftszeit. Ein Update der Trendanzeige erfolgt synchron mit dem Radar-Update.

3. DARTS, EIN ABFLUGPLANUNGSSYSTEM

Das Ziel von darts (departure and arrival management system) ist, eine möglichst optimale Ausnutzung der vorhandenen Startbahnkapazität zu erreichen. Hierbei wird der Abfertigungsprozess am Flughafen als „Ganzes“ betrachtet. Es werden alle beteiligten Organisationen, wie Abfertigungsgesellschaften, Luftfahrtgesellschaften, die Flugsicherung und der Flughafenbetreiber, mit in diesen Prozess einbezogen. darts berechnet eine optimale Abflugsequenz unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern wie Rollzeiten, Flugzeugtyp, start-up und push-back Zeiten, Staffellungen, Restriktionen zu benachbarten Lufträumen, Nutzungskonzepten des Startbahnsystems sowie ATC Slots.

Die STD (Scheduled Time of Departure) oder ETD (Estimated Time of Departure) ist der Zeitpunkt, zu dem der Aircraft Turn around Prozess bzw. das Ground Handling abgeschlossen sein muss. Auf diesen Zeitpunkt bezogen beginnt darts die Planung der optimalen Abflugsequenz. 40-60 Minuten vor STD berücksichtigt darts das für den Abflug vorgesehene Flugzeug erstmals in der Planung und berechnet anhand der von der Flugsicherung bereitgestellten Flugplandaten und der Kenngrößen des Flugplatzes eine vorläufige „optimierte Abflugsequenz“. Dabei nutzt darts die maximale Leistungsfähigkeit des Flughafen- Gesamtsystems aus. Aus der berechneten Sequenz lassen sich für jedes Flugereignis eine geplante Off-block und Take-off Zeit ableiten, die wiederum allen am Abfertigungsprozess Beteiligten als Zielpunkt zur Optimierung ihrer Arbeitsabläufe dienen.

Ein geplantes Flugzeug, das die bestehende Scheduled Time of Departure (STD) oder das vom Handling Agent eingegebene ETD (Estimated Time of Departure) nicht einhalten kann, wird zunächst vom System selbständig zu einem späteren Zeitpunkt verplant. Wenn der Pilot bis dahin immer noch nicht den Abschluss des Abfertigungsprozesses durch die Anforderung einer Anlass- und Streckenfreigabe signalisiert hat, wird der Flug in einem differenzierten Verfahren aus der aktuellen Planung herausgenommen und auf den Status „standby“ gesetzt. Die Airlines und die Handling Agents werden über die geplante Off-block Zeit durch ihre jeweiligen Systeme informiert, mit denen darts über entsprechende Schnittstellen kommuniziert. Im Gegenzug erwartet darts von den erwähnten Partnern ein aktives ETD Management. Durch das Setzen einer neuen und realistischen ETD wird das betroffene Flugzeug von darts wieder in die aktive Planung aufgenommen. Mit dem beschriebenen Verfahren wird ein nicht beanspruchtes Abflugfenster einem anderen abflugbereiten Flugzeug zur Verfügung gestellt und somit aktiv genutzt.

Die geplante Off-block bzw. Take-off Zeit kann dem Piloten über geeignete Systeme wie z. B. ein Dockleitsystem oder ein automatisiertes Kommunikationssystem im Cockpit (z.

B. ACAS) mitgeteilt werden, so dass er jederzeit über Veränderungen informiert ist.

darts erstellt die optimale Abflugsequenz für alle in Betrieb befindlichen Pisten und berücksichtigt dabei alle hinterlegten Verfahren. Außerdem versetzt es die Vorfeldkontrolle in die Lage, die abflugbereiten Flugzeuge zur richtigen Zeit in der richtigen Reihenfolge an den Bereich Tower zu übergeben. Der Lotse, sowohl bei Tower als auch bei der Vorfeldkontrolle, kann diese geplante Sequenz natürlich nur innerhalb seines Verantwortungsbereichs entsprechend der aktuellen Situation jederzeit verändern und anpassen. Die abschließende Kompetenz und Verantwortung für das Rollgeschehen bzw. die Situation auf den Pisten liegt somit beim jeweiligen Lotsen.

3.1. Planungsanzeigen

Informationen werden den beteiligten Lotsen auf den jeweils für ihre Arbeitsposition zugeschnittenen HMIs (Human Machine Interface) dargestellt. Nachfolgend sind am Beispiel für den Frankfurter Flughafen 3 HMIs für die Arbeitspositionen Anlass- und Streckenfreigabe (Abb. 1), Vorfeldkontrolle (Abb. 2) und Tower (Abb. 9) dargestellt.



LOG	FLIGHT	CRZ	M	TYPE	STD	ETA	STATUS
DLH648	A342	H	BULBOS	UAA	-05	-19	APPROX-EAST CLR REQ
USA781	A333	H	BULBOS	SPY	-05	-11	APPROX-EAST CLR REQ
AZ4403	E145	M	ANRHA	LWP	10:15-10:30	02	-15:15 APPROX-EAST CLR REQ
DLH024	RJ85	M	BULBOS	SPY	10:02-10:17	01	-11:02 APPROX-EAST CLR REQ
BERS872	B738	M	ANRHA	LPA	10:04	-04	-11:04 APPROX-EAST CLR REQ

Abb. 1: PB-HMI

Abb. 1 zeigt den Bildschirm für den Arbeitsplatz „Platz/Boden“, der für die Vergabe der Anlass- und Streckenfreigabe zuständig ist. Alle für diese Arbeitsposition relevanten Daten werden für jedes Flugereignis in einem sogenannten elektronischen Kontrollstreifen dargestellt. Dieser Kontrollstreifen dient auch für die anderen HMIs in unterschiedlichen Ausprägungen als Grundlage zur Darstellung flugbezogener Ereignisse.

Nach Erteilung der Anlass- und Streckenfreigabe wird das Flugzeug und mit ihm der Kontrollstreifen an die Vorfeldkontrolle übergeben. Dort wird das Flugzeug von der Erteilung der push-back und Rollfreigaben bis zur Übergabe an den Towerbereich betreut. Die hauptsächlich angewandten Standardverfahren für den push-back Vorgang sind im darts hinterlegt und beanspruchen den Lotsen folglich nur in geringem Maße. Natürlich sind auch die speziellen Verfahren in darts hinterlegt und lassen sich jederzeit durch ein Pull

down Menü im Flugstreifen aktivieren. An diese Arbeitsweise angepasst wurde das Layout dieses Displays (Abb. 2) entwickelt. Im linken oberen Panel werden alle Luftfahrzeuge dargestellt, die sich noch an der Position befinden. Darunter werden alle Luftfahrzeuge, die schon rollen, aufgeteilt nach den unterschiedlichen Pisten dargestellt. Ankommen-Flüge werden dargestellt, bevor die Flugzeuge gelandet sind und die Zuständigkeit der Vorfeldkontrolle erreichen. Die Verkehrsleiter können sich so frühzeitig auf die erwartete Rollsituation auf dem Vorfeld einstellen.



Abb. 2: APRON-HMI

Die letzte Arbeitsposition am Flughafen, die sich mit dem startenden Luftfahrzeug befasst, ist der Bereich Tower. An dieser Position wird die Abflugsequenz erstellt und bei gemeinsamer Nutzung der Pisten gegebenenfalls mit den Anflügen koordiniert. Die Darstellung der entsprechenden Flugereignisse erfolgt an einer Zeitleiter (Abb. 9).

4. KOOPERATIVE PLANUNG VON AN- UND ABFLIEGENDEM VERKEHR

Vor dem Hintergrund einer ständig wachsenden Zahl von Flugbewegungen stehen Flughafenbetreiber und Flugsicherung vor der schwierigen Aufgabe, die zunehmende Verkehrsdichte zu bewältigen und den Flugverkehr weiterhin sicher und wirtschaftlich abzuwickeln. Viele stark frequentierte Flughäfen stoßen bereits an ihre Grenzen – Warteschleifen und Verspätungen bei der Landung und beim Start gehören längst zum Flugalltag und verursachen Kosten in Millionenhöhe. Nur deutliche Kapazitätssteigerungen werden hier auf Dauer Abhilfe schaffen können.

Die kooperative Planung des startenden und landenden Verkehrs ermöglicht erstmals, dass alle am Prozess Beteiligten ein genaues Bild von der Verkehrssituation erhalten und ihnen Informationen geliefert werden, wie der Verkehr geführt werden sollte, um die vorhandenen Ressourcen optimal zu nutzen. Die Planung ist dabei ähnlich wie im 4D-Planer adaptiv ausgelegt, d. h., es findet kein Einfrieren der Zielzeiten und Sequenzen statt. Somit kann das System automatisch auf Veränderungen in der Verkehrssituation reagieren und die Planung automatisch an eine veränderte Situation anpassen. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu

statischen Planungssystemen, bei denen die Zielzeiten und Sequenzen eingefroren werden. Durch die adaptive Planung ist das System in der Lage, selbst bei veränderter Führung des Verkehrs durch die Lotsen, stets eine aktuelle und realisierbare Planung zu liefern.

4.1. AMAN/DMAN Kopplungskonzepte

In der Literatur gibt es zurzeit nur ein bekanntes Kopplungskonzept für die gemeinsame Planung des startenden und landenden Verkehrs durch separate Arrival und Departure Manager. Es handelt sich dabei um ein Master Slave Konzept, bei dem entweder der Arrival Manager oder der Departure Manager der Master ist. Die zugrundeliegende Idee ist dabei stets, dass das Slave System die Lücken des Master Systems zur Planung seines Verkehrs nutzt. Dieser Ansatz wurde gewählt, weil dadurch keine bidirektionale Kommunikation zwischen den Systemen notwendig ist. Der Master teilt dem Slave lediglich seine Planungsergebnisse mit, und dieser muss die vorhandenen Lücken für die Planung seines Verkehrs nutzen.

Die Kombination von Arrival Manager als Master und Departure Manager als Slave (Abb. 4) ist die in der Literatur gebräuchlichere der beiden Varianten, weil üblicherweise der anfliegende Verkehr vor dem startenden Verkehr Priorität hat. In dieser Konstellation plant der AMAN den anfliegenden Verkehr und übermittelt die Ergebnisse an den DMAN. Dieser plant daraufhin in den vorhandenen Lücken den abfliegenden Verkehr.

Die Kombination DMAN als Master und AMAN als Slave ist wesentlich unüblicher (Abb. 3), da sie eine Priorisierung des abfliegenden Verkehrs bedeutet. In dieser Variante plant der DMAN zunächst den abfliegenden Verkehr und sendet das Ergebnis an den AMAN, der dann versucht, die in der Departure Sequenz vorhandenen Lücken mit Arrivals zu füllen.

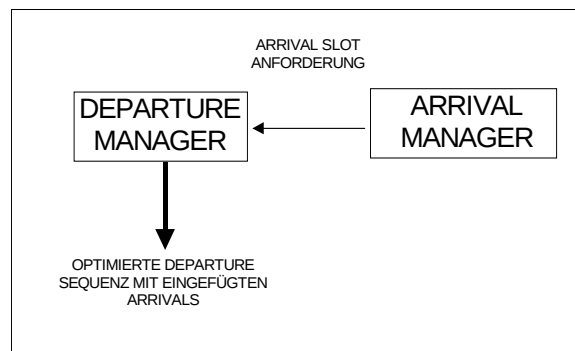


Abb. 3: DMAN als Master, AMAN als Slave

Das Master Slave Konzept hat den großen Nachteil, dass in Situationen mit sehr viel Verkehr auf Seiten des Masters keine Lücken in seiner Sequenz vorhanden sind. Damit hat der Slave keinerlei Möglichkeit, seinen Verkehr zeitnah zu planen. In einer Verkehrssituation, bei der z. B. sehr viel anfliegender Verkehr vorhanden ist, wird es keine Lücken für den abfliegenden Verkehr in der AMAN Sequenz geben. Dies bedeutet dann allerdings, dass der gesamte startende Verkehr verzögert werden muss, bis wieder Lücken in der

AMAN Sequenz vorhanden sind. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass dieser Ansatz für die aktive Steuerung der Verteilung von an- und abfliegendem Verkehr ungeeignet ist. Er ermöglicht lediglich eine vollständige Priorisierung der Arrivals oder bei der anderen Variante der Departures. Auch haben Veränderungen auf Seiten des Slave niemals Auswirkungen auf die Planung des Masters.

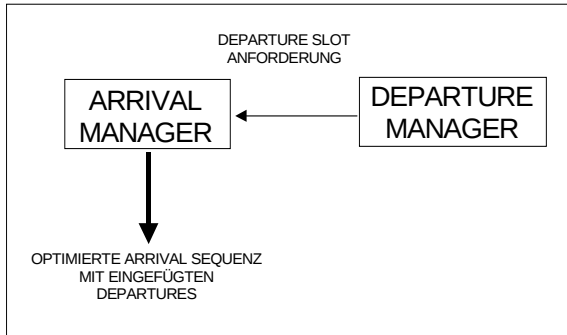


Abb. 4: AMAN als Master, DMAN als Slave

4.2. Kooperative Planung von Arrivals und Departures

Im Gegensatz zum Master Slave Konzept werden bei der kooperativen Planung die Ergebnisse beider Systeme zum Erstellen der kombinierten Planung verwendet. Veränderungen von Zielzeiten und Sequenzen in den einzelnen Systemen haben auch immer eine Veränderung in der kombinierten Planung zur Folge. Darüber hinaus können bei der kombinierten Planung Strategien implementiert werden, welche Verteilung von an- und abfliegendem Verkehr realisiert werden soll. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Optimierung der gemeinsamen Sequenz, beispielsweise nach maximalem Durchsatz oder nach anderen beliebigen Kriterien. Damit ist eine aktive Steuerung der Verteilung von startendem und landendem Verkehr möglich.

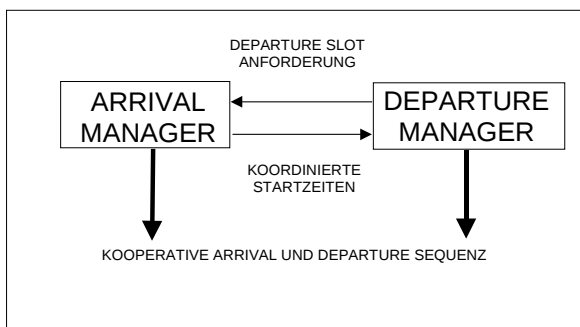


Abb. 5: Kooperative Planung

Die kombinierte Sequenz wird dabei im AMAN auf der Basis der Sequenz und Zielzeiten des DMAN berechnet. Dies geschieht unter Berücksichtigung der für den abfliegenden Verkehr vorgeschriebenen Separationen und Estimates jedes einzelnen Luftfahrzeugs (LFZ). Dabei bleibt die DMAN Sequenz stets erhalten. Die kooperative Planung besteht letztendlich im Zusammenführen der AMAN und DMAN

Sequenz zu einer gemeinsamen Sequenz. Die kooperative Planung ist ebenso wie beim 4D-Planer adaptiv und dynamisch, ohne dass ein Einfrieren der Zielzeiten und Sequenzen stattfindet, und erlaubt dadurch ein automatisches Anpassen an beliebige Verkehrssituationen.

Mit der kooperativen Planung kann ohne weiteres auch ein Master Slave Konzept realisiert werden, das in 4.2.4 noch näher erläutert wird.

Bei der kooperativen Planung werden operationelle Verfahren auf der An- und Abflugseite berücksichtigt. Dies geschieht zum einen durch die Verwendung der Systeme 4D-Planer und darts, die beide operationelle Verfahren abbilden, zum anderen durch die kooperative Planung, die aufgrund der Flexibilität des Konzepts ebenfalls dazu in der Lage ist.

4.2.1. Planungsphilosophie der kooperativen Planung

Aufgrund der negativen Erfahrungen im operationellen Einsatz statischer Planungssysteme wurde die kooperative Planung adaptiv ausgelegt, weil nur so vermieden werden kann, dass Realität und Planung auseinanderlaufen.

Der AMAN reserviert auf Anfrage des DMAN dynamische Departure Slots in der gemeinsamen Sequenz. Diese Slots können dann vom DMAN für den abfliegenden Verkehr genutzt werden. Dieser Ansatz basiert auf Reihenfolgen und nicht auf Zielzeiten. Das bedeutet, dass versucht wird, in der kooperativen Planung eine gemeinsame Sequenz mit definierten Positionen für Arrivals und Departures zu bilden. Die Stabilität der Sequenz hat dabei stets Priorität vor der Einhaltung von Zielzeiten. So werden Veränderungen in den Zielzeiten toleriert, um eine stabile gemeinsame Sequenz zu erhalten. Dieser Ansatz entspricht somit der üblichen Arbeitsweise von Lotsen, die ebenfalls stets sequenzorientiert ist.

4.2.2. Details der kooperativen Planung

Die kooperative Planung ist das Ergebnis eines Verhandlungsprozesses zwischen AMAN und DMAN. Das folgende Bild (Abb. 6) veranschaulicht die Berechnung der gemeinsamen Sequenz im AMAN sowie die dafür notwendige Kommunikation.

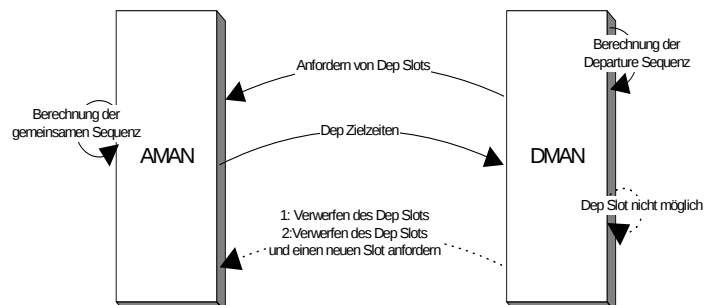


Abb. 6: Austausch von Planungsinformationen zwischen AMAN und DMAN

Es werden die folgenden Berechnungen mit der dazugehörigen Kommunikation durchgeführt:

1. Im DMAN wird eine Sequenz für den abfliegenden Verkehr berechnet.
2. Der DMAN fordert Departure Slots beim AMAN an.
3. Im AMAN wird die gemeinsame Sequenz mit Zielzeiten für Arrivals und Departures berechnet. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Estimates und Separationen für jedes LFZ. So werden auf der Abflugseite die Estimates der frühesten Startzeiten und SID Separationen berücksichtigt und auf der Anflugseite die Wirbelschleppenseparationen sowie die Estimates für die frühesten Landezeiten. Außerdem werden die vorgeschriebenen Separationen zwischen Arrivals und Departures auf einer kombiniert genutzten Landebahn berücksichtigt. Das Ergebnis ist eine gemeinsame Sequenz von Arrivals und Departures mit Start- und Landezeiten für den gesamten Verkehr.
4. Der AMAN sendet die Zielzeiten an den DMAN.
5. Folgende Alternativen sind nun möglich:
 - DMAN akzeptiert alle Zielzeiten, und die Berechnung der gemeinsamen Planung ist abgeschlossen. Dies ist der Standardfall.
 - DMAN akzeptiert mehrere oder eine Zielzeit nicht, weil beispielsweise ATC Slots verletzt wurden. Der entsprechende Slot wird vom DMAN verworfen, und das LFZ wird vom DMAN auf eine andere Startbahn geplant.
 - DMAN akzeptiert mehrere oder eine Zielzeit nicht und fordert einen neuen Slot vom AMAN an. Dann wird eine neue Planung begonnen.

Die Ursache für ein Verwerfen der vom AMAN gelieferten Zielzeiten durch den DMAN liegt stets darin begründet, dass die Zielzeiten der gemeinsamen Sequenz deutlich hinter denen der ersten Departure Planung des DMAN liegen werden. Dabei ist die Anforderung von neuen Departure Slots nach Ablehnung durch den DMAN auf eine neue Anforderung begrenzt, um dadurch eine permanente Neuberechnung der gemeinsamen Sequenz zu verhindern.

4.2.3. Kooperative Planung von dezidierten Bahnnutzungsstrategien

In diesem Abschnitt soll die Implementierung einer bestimmten Nutzungsstrategie in der kooperativen Planung erläutert werden. In Frankfurt wird die Start- und Landebahn 25R fast ausschließlich im „Staggered“ Verfahren genutzt. Das heißt, bei diesem Verfahren startet ein Departure zwischen zwei Arrivals auf der Landebahn 25R.

Diese Strategie wurde im 4D-Planer für die Erstellung der kombinierten Sequenz hinterlegt. Werden jetzt vom DMAN Departure Slots beantragt, wird auf Seiten des 4D-Planers versucht, eine Sequenz gemäß dieser Bahnnutzungsstrategie zu erzeugen. Dabei wird die Estimated Time of Departure (ETD) jedes startenden LFZ daraufhin überprüft, ob mit ihr eine Position zwischen zwei Arrivals auf der 25R realisiert werden kann. Ist dies möglich, wird der Departure auf die entsprechende Position geplant. Die Überprüfung der Bahnnutzungsstrategie erfolgt auf Seiten der Anflugplanung

bei jeder Anforderung von Departure Slots durch den DMAN. Auf diese Weise kann mit dem kooperativen Planungsansatz auch jede andere Bahnnutzungsstrategie problemlos abgebildet werden.

4.2.4. Steuerung der Verteilung von an- und abfliegendem Verkehr

Mit der kooperativen Planung ist es auch möglich, die Verteilung von startendem und landendem Verkehrs zu steuern. Die generierten Lösungen bewegen sich dabei zwischen der absoluten Priorisierung auf der Anflugseite und der absoluten Priorisierung auf der Abflugseite. Diese beiden extremen Lösungen sind dann mit denen des Master Slave Konzepts aus 4.1 identisch. Bei der Steuerung der Verteilung kann eine Lösung zwischen diesen beiden Extremen gewählt werden, die dann üblicherweise eine Verschlechterung erzeugt, und zwar sowohl auf der Anflugseite gegenüber der nicht kooperativen Planung des AMAN als auch auf der Abflugseite gegenüber der nicht kooperativen DMAN Lösung. Dadurch ist es möglich, die Gewichtung zwischen An- und Abflügen aufgrund von operationellen Notwendigkeiten sehr genau anzupassen, weil man erkennen kann, welche Verschlechterungen sich gegenüber den extremen Lösungen ergeben.

Die Berechnung der Lösungen geschieht durch das kombinatorische Optimierungsverfahren Simulated Annealing. Dabei handelt es sich um ein stochastisches Verfahren, bei dem nicht garantiert ist, dass eine optimale Lösung gefunden wird. Allerdings bietet es einige wichtige Vorteile für den praktischen Einsatz:

- Komplizierte Nebenbedingungen lassen sich problemlos realisieren.
- Das Verfahren kann jederzeit abgebrochen werden und die derzeit beste Lösung verwendet werden. Das ist interessant, wenn fest definierte Reaktionszeiten notwendig sind.
- Es ist robust gegenüber lokalen Optima durch die „Simulated Annealing“ Idee. (Es werden auch schlechtere Lösungen während der Iteration verwendet, um lokale Optima zu umgehen.)

4.2.5. Optimierung der kooperativen Planung mit beliebigen Zielfunktionen

Wie bereits in 4.2.4 erläutert, kann die kooperative Sequenz mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens berechnet werden. Dies erlaubt natürlich auch die Verwendung von anderen Zielfunktionen als der Gewichtung zwischen An- und Abflügen. So kann beispielsweise die kombinierte Sequenz nach Durchsatz optimiert werden, das heißt, es wird eine Lösung gesucht, bei der die maximale Anzahl von Starts und Landungen erreicht wird. Eine weitere Zielfunktion könnte die Optimierung nach Pünktlichkeit sein. Hier wird eine Lösung gesucht, die möglichst wenig Verspätung gegenüber dem Flugplan erzeugt.

4.3. Anzeige und Bedienung

Für die kooperative Planung wurden die bestehenden Planungsanzeigen von 4D-Planer und darts erweitert, um den ab- bzw. anfliegenden Verkehr darstellen zu können.

Der 4D-Planer liefert den verantwortlichen Lotsen in ACC und APP Vorschläge für die Bildung der Sektor- bzw. Endanflugreihenfolge zusammen mit Zielzeiten an Metering Fix bzw. Landebahnschwelle. Außerdem werden die Startzeiten von Departures auf einer kombiniert genutzten Start- und Landebahn dargestellt. Diese Vorschläge werden auf den sogenannten Planungsdisplays in Form einer Zeitleiter angezeigt. Der Referenzpunkt der Planung liegt für den APP an der Landebahnschwelle (THR) und im ACC an dem für den jeweiligen Sektor relevanten Metering Fix (MF). Außerdem bekommt der Lotse in beschränktem Umfang Hinweise, wie das einzelne Flugzeug geführt werden sollte, um die vorgegebene Zielzeit zu erreichen. Der Lotse hat die Möglichkeit, die Planung über Eingaben mit der Maus zu beeinflussen.

4.3.1. ACC-Planungsdisplay

Das ACC-Display ist als einspaltige nach unten laufende Zeitleiter gestaltet, auf der die im jeweiligen Sektor vorhandenen Flugzeuge als Label dargestellt werden. Die Labels enthalten jeweils das Callsign, die Gewichtsklasse, die vom 4D-Planer vorgeschlagene Landebahn (L oder R) und gegebenenfalls die Übergabehöhe am Metering Fix. Die Pfeilspitze des Labels zeigt jeweils auf die vom 4D-Planer vorgegebene Übergabezeit. Es besteht die Möglichkeit, wahlweise Luftfahrzeuge aus fremden Sektoren einzublenden (Traffic Info). Diese werden als Striche mit Callsign in der dem jeweiligen Sektor zugeordneten Farbe an der Zeitleiter dargestellt.



Abb. 7: ACC-Planungsdisplays für die Metering Fixe GED, PSA, OSMAX und ROLIS

Die Trendanzeige wird als roter oder grüner Balken in das Flugzeuglabel eingeblendet. Die Balkenlänge zeigt die Größe des vorausgeschätzten Zeitfehlers für das Metering Fix an. Die angezeigte Abweichung bezieht sich auf ein standardmäßiges Höhen- und Geschwindigkeitsprofil. Dabei signalisiert die Farbe Rot, dass das Flugzeug zu früh ankommen würde und verzögert werden muss. Ein grüner Balken zeigt an, dass eine Verspätung zu erwarten ist, die

dadurch vermieden werden kann, dass die Fluggeschwindigkeit erst später als normal reduziert wird.

4.3.2. APP-Planungsdisplay

Die Planungsanzeige im APP ist als zweispaltige Zeitleiter ausgelegt, um eine Aufteilung auf die beiden parallelen Landebahnen zu ermöglichen. Dabei ist ein LFZ auf der linken Seite der Zeitleiter für die linke Landebahn und eines auf der rechten Seite für die rechte Landebahn geplant. Die Labels enthalten jeweils das Callsign, die Gewichtsklasse und gegebenenfalls die vorgeschlagene Übergabehöhe am Metering Fix. An der Position der Labels lassen sich die vorgesehene Landebahn und Landezeit und somit auch die Landesequenz ablesen. Bei LFZen, deren Labels grün sind und bei denen das Callsign rechts im Label steht, handelt es sich um Departures. Für diese LFZe wird auf der Zeitleiter die geplante Startzeit dargestellt.

Flugzeuge, für die ein MOVE oder SEQCHG eingegeben wurde, sind mit einer grün oder gelb gefärbten Pfeilspitze gekennzeichnet. Der Priority-Status wird mit einem roten Stern markiert.

Die aktuelle Betriebsrichtung (25 oder 07) und FLOW-Einstellung (z. B. 4.0, 3.0, 2.5, ..., VMC) sind oben rechts im Planungs-Display angegeben. Eingegebene Änderungen der Betriebsrichtung gelten ab einem festzulegenden Zeitpunkt, der in grüner Farbe auf der Zeitskala markiert wird. Ähnliches gilt für die Änderung der FLOW-Einstellung. Hier wird der Gültigkeitszeitpunkt in blauer Farbe eingetragen. Wenn die Planung (durch Eingabe von STOP über die Tastatur) angehalten wird, erscheint ein rotes „H“ und die Zeitleiter läuft ohne Aktualisierung der Planung weiter.

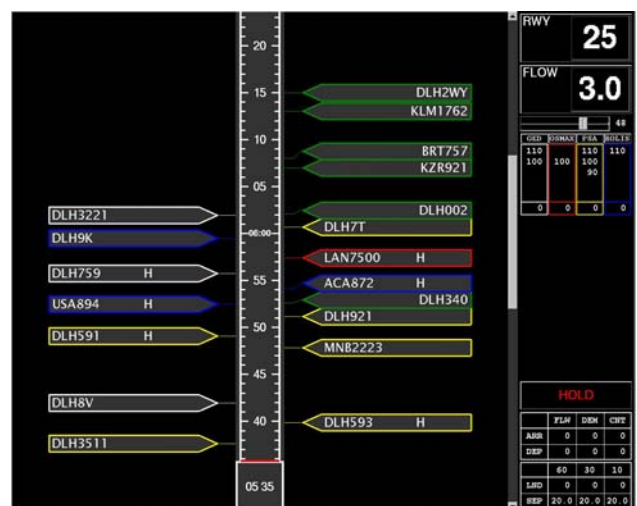


Abb. 8: APP-Planungsdisplay

4.3.3. Tower-Planungsdisplay

Das Tower-Planungsdisplay stellt bei einer kombiniert genutzten Start- und Landebahn sowohl die Departures als auch die Arrivals dar. An dieser Position wird die Abflugsequenz erstellt, die mit den Anflügen koordiniert werden muss. Die Darstellung der entsprechenden Flugereignisse

erfolgt an einer Zeitleiter. Startende LFZe haben im Label einen Pfeil nach oben, landende LFZe einen Pfeil nach unten. Diese Art der Anzeige ermöglicht eine gute Einschätzung der einzuhaltenden Separationen, nicht nur zwischen den Abflügen, sondern auch gegenüber den zu berücksichtigenden Anflügen.

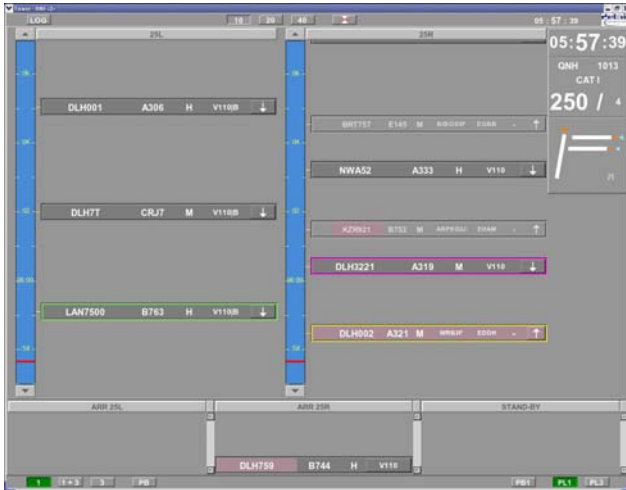


Abb. 9: Tower-Planungsdisplay

5. SIMULATIONSUMGEBUNG

Zur Bewertung der Nutzbarkeit der Funktionalität des gekoppelten AMAN/DMAN durch die Lotsen wurde eine Simulationsumgebung bereitgestellt, die alle relevanten Arbeitspositionen (d.h. Tower, Apron, APP und ACC) umfasst. Hierzu wurden der Enroute-Simulator (AFS von TE) mit dem Tower-Simulator (TOSIM der Akademie) miteinander vernetzt und die Schnittstellen zu dem gekoppelten AMAN/DMAN geschaffen.

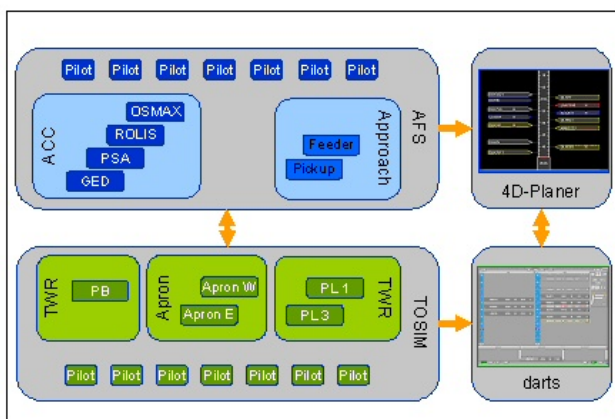


Abb. 10: Simulationsumgebung

6. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein neuer Ansatz zur kooperativen Planung vorgestellt, durch den mit Hilfe bestehender AMAN und DMAN Systeme eine kooperative Planung für den gesamten startenden und landenden Verkehr an einem Großflughafen durchgeführt werden kann. Dieses Konzept bietet somit erstmals die Möglichkeit, dass alle beteiligten Lotsen ein Bild von der aktuellen bzw. zu erwartenden Verkehrssituation auf dem Boden und in der Luft erhalten. Darüber hinaus kann die kooperative Planung durch die bereits operationell genutzten Systeme AMAN und DMAN ohne großen Aufwand allen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden. Auch erhalten sie durch die Systeme Informationen und Führungshinweise, wie der Verkehr gemäß einer optimalen kooperativen Planung abgewickelt werden kann.

Die kooperative Planung liefert den beteiligten Lotsen in ACC und APP Vorschläge zur Erstellung einer optimalen und minimal gestaffelten Anflugreihenfolge, die auf speziell entworfenen Planungsanzeigen dargestellt werden. Für jedes Flugzeug werden zugleich passende Überflugzeiten für das jeweilige Metering Fix und die Landebahnschwelle generiert und angezeigt. Auf der Abflugseite wird den Apron und Tower Lotsen die geplante Off-block bzw. Take-off Zeit unter Berücksichtigung des anliegenden Verkehrs auf ihren Planungsanzeigen dargestellt. Alle angezeigten Ergebnisse der Planung sind nur als Vorschläge an die Lotsen zu begreifen, von denen auch abgewichen werden kann. Deshalb galt es, die Funktion der kooperativen Reihenfolgeplanung mit guter Adaptivität an eine abweichende Lotsenführung auszulegen. Gleichzeitig musste aber auch eine möglichst hohe Planstabilität realisiert werden, um zu vermeiden, dass den Lotsen wechselnde Vorgaben angezeigt werden. Darüber hinaus hat der Lotse aber auch die Möglichkeit, seine Absichten im Voraus in das System einzugeben und damit eigene Randbedingungen für die Planung festzulegen.

SOFIA – oder: wie können Sie sicher landen?

Andreas Udovic, TEH

Einleitung

Das Projekt SOFIA – Safe automatic flight back and landing – ist ein von der Europäischen Kommission gefördertes Projekt, welches seit dem 01.09.2006 im Bereich Forschung und Entwicklung durchgeführt wird. Mit insgesamt acht Partnern soll untersucht werden, wie Flugzeuge in Gefahr sicher landen können, ohne dass an Bord des Flugzeuges eingegriffen werden kann. Das Projekt hat eine Laufzeit von drei Jahren und schließt mit einer Realzeitsimulation bei TE und Flugversuchen ab.

Hintergrund

Das Projekt SOFIA ist eng mit den Projekt SAFEE - Security of Aircraft in the Future European Environment – verbunden. Dieses Projekt wurde von der Europäischen Kommission aufgrund der Terroranschläge vom 11.09.2001 in den USA vergeben. Ziel dieses Projektes war die Erkennung von Gefahren an Bord eines Flugzeuges. Als Gefahren wurden z.B. Bomben, gefährliche Stoffe, wie Chemikalien aber auch Bedrohungen durch Entführungen definiert. Durch den Einsatz verschiedener Sensoren sollen diese Gefahren erkannt werden. Wenn eine Gefahr erkannt wird, wird die Besatzung des Flugzeuges aus der fliegerischen Verantwortung für das Flugzeug genommen und das Flugzeug wird automatisch in eine Holdingposition geführt. Eine Steuerung des Flugzeuges ist dann von Bord aus nicht mehr möglich.

SOFIA setzt als Projekt an der Stelle ein, wo das Flugzeug in eine Holdingposition geführt wurde. Ziel von SOFIA ist die automatische Rückführung des Flugzeuges zu und die sichere Landung auf einem Flughafen. Die Funktionalität, die dieses ermöglichen soll, wird Flight Recalculation Functionality (FRF) genannt.

Projektziele

Für das Projekt SOFIA wurden drei wesentliche Ziele definiert:

1. Die Demonstration, dass das FRF in einer betriebssicheren und preislich erschwinglichen Art hergestellt werden kann.
2. Die Demonstration, dass mit FRF ausgerüstete Flugzeuge unter normalen Flugbedingungen sicher operieren können.
3. Die Demonstration, dass wenn FRF die Flugführung übernimmt, ein sicherer Flug zum und eine sichere Landung am Flughafen möglich ist.

Diese drei Projektziele von SOFIA lassen sich weiter untergliedern in:

- technische Ziele,
- operationelle Ziele,
- Validation.

Zu den technische Zielen zählen unter anderem:

- Das Design der FRF für verschiedene Flight Managment Systeme (FMS).
- Die Entwicklung eines FRF für konkrete FMS.
- Entwicklung einer Datenbank (Geländedaten, Flughafendaten, Flugrouten, etc.) zur Unterstützung des FRF.
- Der Aufbau einer Validierungsplattform zur Demonstration der FRF Fähigkeiten.

Die operationellen Ziele umfassen:

- Analyse des Einflusses FRF gesteuerter Flugzeuge auf das Air Traffic Management (ATM).
- Analyse der Kompatibilität von FRF zu den bestehenden Flugsicherungsregeln.
- Entwickeln von Verfahren zur Integration FRF gesteuerter Flugzeuge im bestehenden und zukünftigem ATM.

In den Bereich der Validation gehören die Punkte:

- Untersuchung der Betriebsicherheit von FRF.
- Überprüfen der Flugsicherungsverfahren.
- Demonstration der FRF Fähigkeiten.

Die Validierung soll mittels Realzeitsimulationen und Flugversuchen durchgeführt werden.

Des Weiteren soll im Rahmen des Projektes eine erste Bedrohungsanalyse als Grundlage für eine Sicherheitsbewertung durchgeführt werden. Zudem sollen die Rahmenbedingung für eine Zertifizierung von FRF überprüft und rechtliche Aspekte mit den zuständigen Behörden diskutiert werden.

Projektstruktur

An dem Projekt sind insgesamt neun Partner beteiligt. Diese Partner bringen unterschiedliches Know-how in das Projekt ein, um so die Projektziele zu erreichen. Zudem sind einige Partner bereits an dem Projekt SAFEE beteiligt gewesen, so dass ein Wissenstransfer zwischen den Projekten sichergestellt ist.

Folgende Partner sind neben der DFS an diesem Projekt beteiligt:

- ISDEFE (Spanien), Projektführung,
- THALES Avionics (Frankreich), verantwortlich für den Bereich FMS und FRF Entwicklung,
- Galileo Avionica (Italien), Mitarbeit in der Entwicklung der notwendigen Datenbank und Beteiligt and der Validierung
- Skysoft (Portugal), für die Programmierung von FRF verantwortlich,
- Teleavio (Italien), verantwortlich für das Systemdesign und die Programmierung der notwendigen Datenbank
- Daimond Aircraft (Österreich), beteiligt an den Flugversuchen
- Rheinmetall Defence Electronic, stellt zusammen mit Daimond einen Versuchsträger zur Verfügung

- Instytut Lotnictwa (Institute of Aviation, Polen), stellt ebenfalls einen Versuchsträger zur Verfügung.

Insgesamt ist das Projekt in sechs Arbeitspakete unterteilt. Abbildung 1 gibt die Projektstruktur wieder.

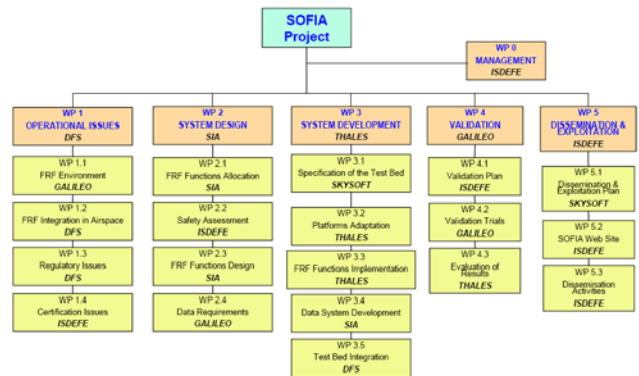


Abb. 1: Projektstruktur SOFIA

Das Arbeitspaket 0 „Projektmanagement“ und das Arbeitspaket 5 „Dissemination“ wird von ISDEFE geleitet. Die DFS ist verantwortlich für der Arbeitspaket 1 „Operational Issues“. Teleavio ist für das „System Design“ im Arbeitspaket 2 zuständig. Thales hat die Leitung des Arbeitspaket 3 „System Development“ und Galileo koordiniert das Arbeitspaket 4 „Validation“.

Der Gesamtumfang des Projektes beträgt 4,8 Mil. €, wobei die Fördersumme ca. 2,4 Mill. € beträgt. Der Gesamtaufwand für die DFS ist ca. 50 Personenmonate.

Lösungsansätze für die Integration von FRF aus SAFEE

Im Rahmen des Projekts SAFEE wurden bereits Lösungsansätze für Integration von FRF gesteuerten Flugzeugen in den ATM entwickelt. Diese Lösungsansätze sollen die Grundlage für die weitere Entwicklungsarbeit in SOFIA bilden. Folgende drei Lösungsansätze wurden beschrieben:

1. An Bord des Flugzeuges wird durch das FRF ein neuer Flugplan berechnet. Dieser Flugplan enthält die Flugstrecke bis einschließlich zur Landung am Flughafen. Bei der Berechnung des Flugplans werden die flugzeugsystemspezifischen Daten, wie z.B. Performance, benötigte Landebahn, vorhandener Treib-

stoff an Bord oder das aktuelle Wetter, mit einbezogen. Dieser Flugplan wird dann über das bordeigene FMS abgeflogen und das Flugzeug sicher gelandet. In wie weit es eine Möglichkeit gibt, ATC über den neuen Flugplan zu informieren, muss noch untersucht werden.

2. Ein neuer Flugplan wird am Boden generiert. Dies kann durch ATC geschehen, oder alternativ über eine separate Bodenstation. Dieser Flugplan wird dann zu dem Flugzeug gesendet. Dort wird dieser mit den Flugzeugdaten zusammen auf Durchführbarkeit überprüft. Ergibt die Überprüfung, dass dieser Flugplan abgeflogen werden kann, wird er ausgeführt. Anderweitig wird er abgelehnt. Diese Ablehnung wird dem Boden mitgeteilt, der daraufhin einen neuen Flugplan erstellen kann. Wird ein Flugplan durch das FRF dreimal abgelehnt, wird wie unter 1 ein neuer Flugplan berechnet. Dieser wird dann abgeflogen.
3. Diese Alternative sieht den Einsatz eines Militärflugzeuges vor. Dieses wird zu dem bedrohten Flugzeug geschickt. Dort wird dann wie unter 2 ein neuer Flugplan zu dem bedrohten Flugzeug gesendet. Wie unter 2 kann dann eine Verhandlung über den Flugplan stattfinden. Der akzeptierte Flugplan kann dann unter Begleitung durch das Militärflugzeug angeflogen werden.

Alle drei Varianten sollen im Arbeitspaket 1 diskutiert und auf ihre Kompatibilität zum ATM System untersucht werden.

Arbeitsanteile der DFS

Im Rahmen dieses Projektes hat die DFS unterschiedliche Arbeitspakete übernommen, an denen verschiedene Bereiche der DFS beteiligt sind.

Das Arbeitspaket 1 „Operational Issues“ ist neben der Validierung eine Hauptaufgabe der DFS. In diesem Arbeitspaket soll die ATM-Umgebung für den Zielzeitraum 2025 beschrieben werden. Zudem sollen die ATM Verfahren definiert werden unter denen FRF ablaufen soll. Ebenso sollen rechtliche Aspekte untersucht und die zertifizierungsrelevanten Fragen geklärt werden.

Die Aufgabe der DFS im Arbeitspaket 2 liegt in der Beteiligung an der Bedrohungsanalyse als

ersten Schritt einer Sicherheitsbewertung. Diese Aufgabe wird von Consulting mit Unterstützung durch VY durchgeführt.

Die wesentliche Aufgabe der DFS im Arbeitspaket 3 ist die Bereitstellung der Simulationsumgebung für die Validierung im Arbeitspaket 4. Um die Validierung möglichst realistisch durchzuführen soll der Advanced Function Simulator (AFS) von TE mit einem Flugsimulator der Firma Galileo in Italien gekoppelt werden. Die dazu erforderliche technische Vorbereitung wird von TE durchgeführt.

Das Arbeitspaket 4 umfasst die Durchführung und Auswertung einer Realzeitsimulation. Insgesamt sollen die im Arbeitspaket 1 entwickelten Verfahren in einer zweiwöchigen Simulation überprüft werden. Durch den Einsatz des Flugsimulators sollen erste Erfahrungen mit der Umsetzung des FRF gesammelt werden. Diese Arbeiten sollen zusammen mit Lotsen aus der Niederlassung Mitte und Piloten der Akademie durchgeführt werden.

Ein Teil der geplanten Flugversuche soll in Umgebung von Bremen durch Rheinmetall und Diamond durchgeführt werden. Diese Flugversuche werden von der DFS ebenfalls begleitet, um so Erfahrungen zu der Thematik autonomes Fliegen gewinnen zu können.

Ausblick

Erste Ergebnisse für das Arbeitspaket 1 werden voraussichtlich im März 2007 vorliegen. Bis dahin soll das zukünftige ATM System beschrieben und die für den Einsatz von FRF notwendigen Verfahren entwickelt sein.

Die Simulation ist für Ende 2008 vorgesehen, so dass mit einer abschließenden Bewertung der Arbeiten Anfang 2009 vorliegt.

Abkürzungen

AFS	Advanced Function Simulator
ATM	Air Traffic Management
FRF	Flight Recalculation Functionality
SAFEE	Security of Aircraft in the Future European Environment
SOFIA	Safe automatic flight back and landing

Voice over IP Nutzung im ATM-Simulatorzentrum und im Bereich Tower der DFS

Andre Adrian, TWR/TB, Christian Müller, TEI

Einleitung

Der Einsatz von Voice-over-IP (VoIP) Systemen für die Sprachvermittlung hat im Bereich Forschung und Entwicklung eine lange Historie. Der Forschungssimulator (Advanced Function Simulator, AFS) wurde bereits im Jahr 2000 im Rahmen des EU-Projekts AVENUE erstmalig mit einem VoIP-System in Frankreich gekoppelt (Siehe [1]). Als Synergie aus diesen Vorhaben wurde für den NEWSIM die eingesetzte VoIP Software (Audiolan) weiterentwickelt und integriert. Später löste Audiolan am AFS das proprietäre Sprachvermittlungssystem ab. Damit wurde nicht nur eine benutzerfreundliche und sehr viel schneller an die jeweilige Simulation anzupassende Infrastruktur eingesetzt, sondern auch eine überzeugend kostengünstigere Implementierung gewählt.

Einsätze von VoIP in TE Simulatoren

Nicht zuletzt aus den aufgezeigten Kostengründen verbreitet sich nach dem Ersteinsatz des Audiolan im Rahmen von AVENUE das System in allen Enroute-Simulatoren innerhalb der DFS. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

a) NEWSIM

Der NEWSIM ist der rein auf die Ausbildung ausgelegte Simulatortyp, der dem Trainee ein „P1/ATCAS ähnliches“ System zur Verfügung stellt. Heutzutage ist jeder NEWSIM mit Audiolan zur Emulation von Funk- und Telefonverbindungen ausgestattet. Die größte Installation ist der NEWSIM 1 an der Akademie Langen, bei dem 16 Radar-, 16 Simulations-, 2 Adjacent- und eine Supervisorposition mit Audiolan ausgestattet sind. In dieser Konfiguration sind alle Arbeitsplätze mehrmals täglich im Einsatz zum Training von FVK Schülern oder zur Weiterbildung von Lotsen.

Die Audiolan Software ist in die NEWSIM Datenpreparations- und Supervisorsoftware integriert. D.h. für die im Schulungsbetrieb nötige flexible Anpassung der Frequenzbelegung und der Definition der Telefonverbindungen ist nur ein

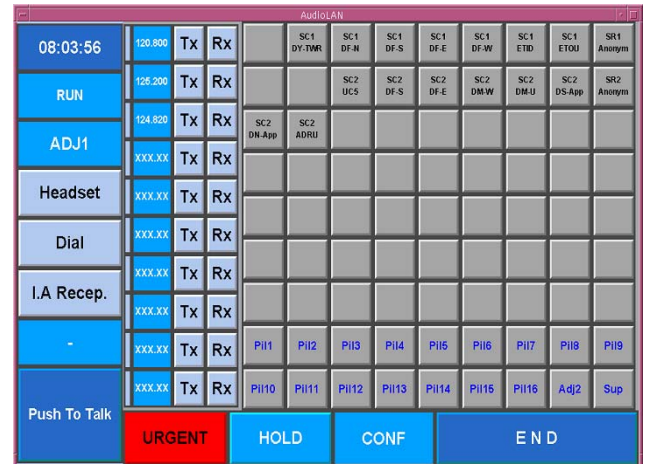


Abb. 11: moderat belegtes Audiolan HMI eines Adjacent

geringer Einarbeitungsaufwand nötig. Start und Stopp der Audiolan Applikation an den Lotsenarbeitsplätzen erfolgt automatisch beim Simulationsstart.

b) SIMSYS

Neben dem Einsatz in den NEWSIM Simulatoren findet Audiolan immer stärker Verbreitung in SimSys Simulatoren.

Der SimSys ist ein Simulator, der mit einem realen System (z.B. P1/ATCAS oder P1/VAFORIT) gekoppelt wird und dieses dann mit den nötigen Daten (z.B. Radar, Flugplaninformationen ...) versorgt. Da dieser Simulatortyp in der Regel an operationell ausgestatteten Konsolen betrieben wird, steht häufig auch ein betrieblich genutztes Sprachvermittlungssystem (SVS) z.B. ISIS zur Verfügung, so dass Audiolan nicht nötig ist. In jüngster Vergangenheit kam aber immer öfter die Kundenanfrage auch in diesem Umfeld Audiolan einzurüsten. Dadurch kann vermieden werden z.B. auch Simulationspilotenarbeitsplätze oder reine Testsysteme mit den teuren SVS-Arbeitsplätzen auszustatten.

Im SimSys sind momentan zwei Varianten des Audiolan im Einsatz. In der RK Langen steht ein System, bei dem Audiolan zusätzlich in die betrieblich ausgelegten Konsolen eingebaut wurde.

D.h. es steht in der Konsole ein weiterer Rechner und auf der Vorderseite wird ein kleines TID, der Monitorlautsprecher, sowie extra Anschlussbuchsen für das Audiolan Headset und Telefon montiert.

Für den jüngsten SimSys des VAFORIT-Teams in Karlsruhe halfen die Ideen von TE, Geld zu sparen. Dort können nun die Lotsen an betrieblich ausgestatteten Konsolen mit dem operationell genutzten SVS arbeiten. 10 Funkkanäle sind mit dem Audiolan der Simulationspiloten gekoppelt und binden sie so, sehr kostengünstig, an die Lotsenarbeitsplätze in einem anderen Gebäude an.

Diese Kopplung wurde dank der Unterstützung aus dem Bereich CNS/CV (Hr. Thomas) in sehr kurzer Zeit realisiert. Die hierfür nötige Schaltungserkennung und -erzeugung wird von einer Funkstreckennachbildung des SVS Systems erledigt und über eine von Hr. Thomas eigens entworfene Schaltung mit der parallelen Schnittstelle der SUN Rechner gekoppelt. So musste an der eigentlichen ISIS Anlage nichts und auf Audiolanseite nur ein paar Parametern verändert werden (siehe [2]).

c) JOINT

Seit dem 14. November gibt es auch ein NEWSIM System, das nicht mit einem echten ATC System gekoppelt ist, sondern mit sehr realitätsnahen Flugsimulatoren. Am Flughafen Frankfurt ist ein 4 CWP, 4 Simulationspiloten und 1 Supervisorplatz umfassender NEWSIM mit 6 Full Flight Simulatoren (FFS) der Lufthansa Flight Training (LFT) gekoppelt worden. Diese Kopplung hört auf den Namen JOINT und ermöglicht es den Lotsen der DFS, zusammen mit Besatzungen der Lufthansa Notfälle zu trainieren. Den eigentlichen Übungsläufen schließt sich dann der Austausch von Cockpitcrew und Lotsen an, um die Ergebnisse gemeinsam zu reflektieren.

Bei dem Joint System werden in den NEWSIM Audio- und Positionsdaten der FFS ein- und auch wieder ausgekoppelt. D.h. ab Start der Kopplung fliegen die Piloten in der Simulation unter voller ATC Kontrolle. Damit eine zwei Sektoren umfassende Übung realistisch erfolgen kann, wurde jeder FFS über zwei Funkkanäle mit dem NEWSIM System gekoppelt.

Der NEWSIM löst eine alte DESIM Installation

ab, deren Funktion durch fehlende Ersatzhardware nicht mehr sichergestellt werden konnte. Durch den Einsatz von VoIP ist es nun auch sehr leicht möglich, die räumliche Trennung der unterschiedlichen FFS und des NEWSIM zu überbrücken.



Abb. 2: Boeing Full Flight Simulator der LFT in Frankfurt (Bild U. Meyer)

Weitere VoIP-Nutzung bei TE

Neben der „Standard“-Anwendung von Audiolan im Rahmen von diversen Projekt-Simulationen wurde im Rahmen der Projekte KATM und DTOP auch der im Folgenden näher beschriebene Gegensprechen-Prototyp eingesetzt. In den Simulationen wurden bis zu 4 Stationen per VoIP Gegensprechen miteinander verbunden (s. Abb. 3).

Das VoIP basierte Gegensprechen hat neben den geringen Kosten für die Hardware und geringem Einarbeitungsaufwand noch den Vorteil, dass die vorhandene Netzwerkverkabelung zwischen den räumlich getrennten Standorten genutzt werden konnte.

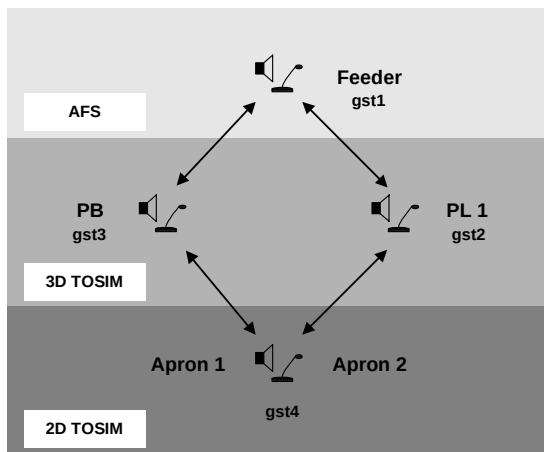


Abb. 3: Gegensprechstationen in KATM

Erprobung von VoIP-Systemen für die DFS

Das DFS Projekt FE.043 „VoIP-GS Prototype“ soll die Verwendbarkeit von VoIP für die DFS erproben. Die Erprobung findet betriebsnah in der Technik des Clusters Ost (Tower Leipzig, Dresden und Erfurt), in dem betrieblichen Umfeld TWR (Tower Leipzig, Erfurt und Nürnberg) und im betrieblichen Umfeld Center (Newsim München) statt.

Der VoIP-GS Prototype ist dem Gegensprechen Digital (GS-D) System nachempfunden. Ein Intercom System wie GS-D erlaubt eine schnelle Sprachkommunikation zwischen Lotsen (Boden/Boden Sprachkommunikation). Alle Intercom Teilnehmer arbeiten immer mit Freisprech-Einrichtung. Der angerufene Teilnehmer muss nicht abheben, sondern hört nach Gesprächsaufbau durch den Anrufer die Stimme des Anrufers aus dem Intercom Lautsprecher.

VoIP-GS Prototype Arbeitsplatz

Den VoIP-GS Arbeitsplatz-PC gibt es als Einbau-Version für den Lotsen-Arbeitstisch. Die Einbau-Version hat die Maße 129mm x 213mm. In dem „Rucksack“ ist ein kompletter PC eingebaut. Das Mainboard ist 100mm x 140mm groß und arbeitet mit einer

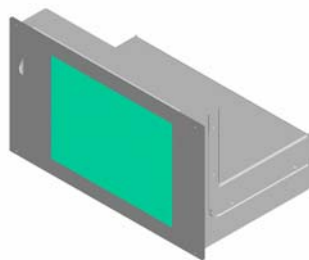


Abb. 4: VoIP_Arbeitsplatz-PC

VIA Eden 1GHz CPU. Es ist eine Sonderanfertigung der Firma Delta-Components.

Ein Lautsprecher- und ein Mikrofon-Modul ebenfalls in 19-Zoll Technik komplettieren den VoIP-GS Arbeitsplatz.

Dieser Arbeitsplatz-PC ist auch im Forschungssimulator AFS eingebaut und wird u.a. für die

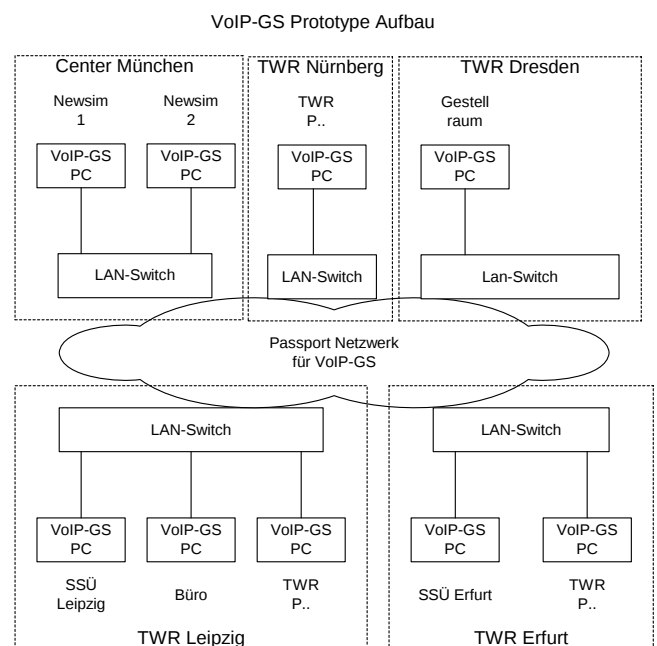


Abb. 5: Prototyp-Installation im AFS

Sprachkopplung mit dem TOSIM eingesetzt (s. Fig. 5).

VoIP-GS Prototype Systemschaubild

Die VoIP-GS Prototype Arbeitsplatz-Rechner reden über Passport und Twisted-Pair LAN



Autor: Andre Adrian, DFS TWR/TB

Abb. 6: VoIP-GS Prototype Systemschaubild

Verkabelung miteinander (s. Abb. 6).

Für das System-Management ist eine SME (System Management Einheit) vorgesehen. Dies ist keine zentrale Komponente sondern dient zur Anzeige des Systemstatus und zur Vorbereitung und Verteilung der System-Konfiguration. Im Moment ist die SME noch nicht realisiert.

Echounterdrückung

"Wie heißt der Bürgermeister von Wesel" - "Esel". Dieses Spiel mit Echo kennt wohl jeder. Hören wir Echo bei unseren Telefongesprächen, sind wir weniger amüsiert. Bei Freisprecheinrichtungen im Auto und besonders bei Voice-over-IP Freisprechtelefonen ist Echounterdrückung oder AEC (Acoustic Echo Cancellation) nötig. Wie AEC funktioniert, will der folgende Text zeigen.

Echoverzögerung

Eine Art von Echounterdrückung führen wir aus, seit wir sprechen können: wir können eine zweite Person hören, auch wenn wir gerade selbst sprechen. Diese Fähigkeit hat unser Gehirn für Echoverzögerungen bis ca. 30ms. Wird in einem Test die Echoverzögerung gesteigert, bemerken die Testpersonen zuerst einen kathedralenhaften, halligen Klang, dann störendes Echo. Der Kathedralen Effekt durch "Reverberation" wird im Musikstudio eingesetzt um Aufnahmen besser klingen zu lassen. Siehe Zeitschrift c't Ausgabe 8/2004 Audioeffekte: Hall mit Impulsfaltung. Bei VoIP liegt die Echo-Laufzeit oder die zweifache Mund-zu-Ohr Übertragungszeit bei 60ms bis über 100ms.

Ursache des Echos

Hörbares Echo bei Sprecher A entsteht, weil auf der Seite von Sprecher B das Mikrofon den Schall des Lautsprechers aufnimmt. Kann nun dieser akustische Weg bei B blockiert werden, hört A kein Echo mehr. Die weiterhin bestehende Laufzeit stört uns Menschen nicht, solange diese unter 200ms einfacher Weg bleibt. Ein Headset (Kopfhörer-Mikrofon Garnitur) blockiert durch "den Kopf dazwischen" den akustischen Weg. Bei einem Handset (Telefonknochen) kann durch Konstruktion und Dämm-Material der akustische Weg von Hörmuschel zu Sprechmuschel durch den Knochen blockiert werden - deshalb sind die

Handapparate von guten VoIP-Telefonen so wichtig. Bei Freisprech-Telefonen muss der "akustische Kurzschluss" mit elektronischen Mitteln bekämpft werden.

Hierzu wird vom elektrischen Mikrofonsignal das elektrische Lautsprechersignal abgezogen. Vor dieser einfachen Subtraktion muss das elektrische Lautsprechersignal aufwendig manipuliert werden. Und zwar genau so, wie der Raum das akustische Lautsprechersignal auf dem Weg zum Mikrofon verändert hat.

Aufgrund der Schallgeschwindigkeit von 340m/s entsprechen 1ms akustische Laufzeit 34cm Schallweg. Schallwellen im Raum werden mehrfach zwischen Wänden, Decke und Boden hin- und hergeworfen. Deshalb dauert die Impulsantwort (bis ein Knall verklingt) eines Raumes oft 80 Millisekunden und mehr. In schallarmen Räumen frisst der Wandbelag die Schallwellen auf - man fühlt sich in diesen Räumen unwohl, so als wenn Watte in den Ohren steckt.

Tapped-Delay-Line

Das Herzstück jeder Echounterdrückung ist die Verzögerungskette mit Abgriffen oder tapped-delay-Line. Die Verzögerungskette stellt die vergangenen Lautsprechersignale zur Verfügung, welche ja für die elektrische Nachbildung der akustischen Ausbreitung benötigt werden. Ein einzelnes Verzögerungselement (tap) entspricht einer Abtastung des Digital/Analog Wandlers. Für Telefonqualität gibt es 8000 Abtastungen pro Sekunde, für Wideband Qualität gibt es 16000 Samples pro Sekunde.

Eine Tapped-Delay-Line für 20ms Echokompensation benötigt bei Wideband 320 Verzögerungselemente. Da jedes Sample mit der gesamten Tapped-Delay-Line verrechnet wird, entsteht ein ordentlicher Rechenaufwand für AEC. Bei Wideband muss 16000-mal pro Sekunde für jeweils 320 taps die Echounterdrückungs-Rechnung ausgeführt werden.

Die Echounterdrückungs-Rechnung besteht aus der Faltung (Convolution) und der Anpassung (Update) der Filter-Koeffizienten. Die Faltung wird durch das Skalarprodukt (dot product) errechnet. Dabei enthält der Vektor x die Lautsprecher-Signale und der Vektor w die Koeffizienten. N steht für die Anzahl der Taps.

```
/* Skalarprodukt */
float dotp(float X[], float W[])
{
    int j;
    float sum0 = 0.0, sum1 = 0.0;
    for (j = 0; j < N; j += 2) {
        sum0 += X[j] * W[j];
        sum1 += X[j + 1] * W[j + 1];
    }
    return sum0 + sum1;
}
```

Aus mathematischer Sicht ist die Aufteilung in sum0 und sum1 nicht nötig. Es hilft aber den Rechenwerken in der CPU, besser parallel zu arbeiten. Die SSE Befehle der Intel CPU erlauben die Verarbeitung von 4 Fließkommawerten in einem Assemblerbefehl. Durch Intrinsic Funktionen ist es beim Intel und beim GNU C/C++ Compiler leicht möglich, mit SSE Kommandos zu arbeiten:

```
/* Skalarprodukt SSE Version */
#include <xmmintrin.h>
float dotp(float X[], float W[])
{
    int j;
    float sum[4];
    __m128 xmm0, xmm1, xmm2;
    sum[0] = sum[1] = 0.0;
    sum[2] = sum[3] = 0.0;
    xmm2 = _mm_load_ps(sum);
    for (j = 0; j < N; j += 4) {
        xmm0 = _mm_loadu_ps(&X[j]);
        xmm1 = _mm_loadu_ps(&W[j]);
        xmm0 = _mm_mul_ps(xmm0, xmm1);
        xmm2 = _mm_add_ps(xmm2, xmm0);
    }
    _mm_store_ps(sum, xmm2);
    return sum[0]+sum[1]+sum[2]+sum[3];
}
```

Die Faltung findet im Zeit-Bereich (time-domain) statt. Durch eine Fourier-Transformation ist es möglich die Faltung im Frequenz-Bereich (frequency-domain) auszuführen. Der Quelltext des Open-Source Speex Codec (www.speex.org) von Jean-Marc Valin enthält eine Implementierung des Multidelay Block Frequency Adaptive Filter von Soo und Pang in der Datei mdf.c. Ob Frequency-Domain AEC Lösungen die Time-Domain

Lösungen verdrängen, oder ob bei gleicher AEC Qualität der gleiche Aufwand bei beiden Ansätzen nötig ist, ist eine offene Frage. Wenigstens den älteren Frequency-Domain Lösungen wird schlechte Stabilität und langsame Anpassung an Änderung der Schallwege nachgesagt.

Least Means Square Algorithmus

Die Filter-Koeffizienten für die Faltung müssen irgendwie berechnet werden. Bei einem üblichen Finite-Impulse-Response Filter sind diese Koeffizienten Konstanten. Mit FIR Filtern lassen sich Tiefpässe, Hochpässe und Bandpässe bauen - Filter, die gewisse Tonhöhen besser durchlassen als andere Tonhöhen. Für Echounterdrückung müssen die Filter-Koeffizienten Variablen sein, welche sich an die unterschiedlichen Gegebenheiten anpassen. Wenn der Sprecher seinen Oberkörper bewegt, ändert sich der Schallweg und die Filter-Koeffizienten müssen sich anpassen oder adaptieren.

Die Herren Widrow und Hoff haben 1960 im Rahmen ihrer Künstlichen Intelligenz Forschung den LMS Algorithmus erfunden. Eigentlich soll der Adaline, so der ursprüngliche Name, das Verhalten einer Nervenzelle nachbilden. Der LMS Algorithmus minimiert einen Fehler. Der Fehler bei der Echounterdrückung ist der Unterschied zwischen dem echten Signal am Mikrofon wenn nur der Lautsprecher aktiv ist und dem nachgebildeten Signal welches die Faltung berechnet hat. "Wenn einer schweigt, der andere spricht dann nennt man dieses Adaline Unter-richt".

Der Fehler e wird berechnet aus Mikrofon Signal d minus Skalarprodukt aus x und w , d.h. mit

$$e = d - \langle X, W \rangle$$

Mit diesem Fehler e und einem weiteren Parameter `mikro` können jetzt die Koeffizienten adaptiert werden:

$$W[i+1] = W[i] + \text{mikro} * e * X[i]$$

Dabei steht $w[i]$ für den alten Wert und $w[i+1]$ für den neuen Wert des Koeffizienten-Vektors. Der Parameter `mikro` kontrolliert die Stabilität der Adaption. Bei einem Filter mit konstanten

Koeffizienten ist die Stabilität leicht sicherzustellen. Nicht so bei der Echounterdrückung. Verliert der Filter die Stabilität hört man ein ekelhaft lautes Kreischen aus dem Lautsprecher, welches schlimmer als das ursprüngliche Problem, das Echo, ist.

Obwohl die LMS Formeln sehr einfach sind, ist die Sicherstellung der Stabilität sehr schwierig. Das Problem ist, neben den schon bekannten Werten gibt es keine weiteren. Münchhausen muss sich also am eigenen Schopf aus dem Sumpf ziehen. Seit 1965 bekannt ist die NLMS (Normalized LMS) Berechnung von mikro welche nur das aktuelle Skalarprodukt der Lautsprecher-Samples benötigt:

$$\text{mikro} = 1 / (\langle X, X \rangle + \text{delta})$$

Der Parameter `delta` begrenzt den Wertebereich von `mikro` und vermeidet eine Division durch Null. Der Wert von `delta` ergibt sich aus dem `noise floor` (Signal zu Rausch Abstand) und der Länge des NLMS Filters in Taps. Typische Werte für `noisefloor` sind -55dB.

$$\text{delta} = N * \text{noisefloor} * \text{noisefloor}$$

Lernen und Vergessen

Gelernte Filterkoeffizienten nach gewisser Zeit wieder zu vergessen ist eine einfache Methode um einen adaptiven Filter in einem lernfähigen Zustand zu halten. Diese Vergesslichkeit verhindert Spitzenleistungen unter Laborbedingungen, ergibt aber eine gute Robustheit in der Praxis.

Der Variable x wird weißes Rauschen beige-mischt. Das weiße Rauschen sorgt für das Vergessen im Vektor w .

$$x = x_0 + s$$

x ist das verrauschte Lautsprechersignal x_0 , s ist weißes Rauschen mit z.B. -60dB Pegel.

Geigel Double-Talk-Detector

Alles wäre einfach, wenn sich die Nutzer an "einer schweigt, der andere spricht" halten würden. Reden beide Nutzer gleichzeitig, fehlt dem LMS Filter das Adaptions-Ziel. Das vom Mikrofon aufgenommene Signal stammt nicht nur vom Lautsprecher, sondern ein Störsignal – der andere Sprecher - ist überlagert.

Durch den Vergleich von Lautstärke des Mikrofon-Signals zu Lautstärke des Lautsprecher-Signals wird erkannt ob ins Mikrofon gesprochen wird. Wie beim ganzen Thema Echounterdrückung dürfen nicht die älteren Lautsprecher-Signale vergessen werden. Mit dem aktuelle Mikrofon-Signal d und den Lautsprecher-Signalen x ergibt sich die Double-Talk-Detector Formel nach Geigel:

$$|d| \geq 0.5 * \max(|x[0]|, |x[1]|, \dots, |x[N-1]|)$$

Der Parameter 0.5 entspricht einer Dämpfung von 6 dB. Wird dieser Parameter verändert, funktioniert Echounterdrückung entweder besser oder schlechter. Oft geschieht sogar beides: das Verhalten bei Single-Talk (nur einer spricht) wird besser, das Verhalten bei Double-Talk wird schlechter. Wird Double-Talk erkannt, so wird für eine hangover Zeit von z.B. 30ms die LMS Filter Adaption unterbunden. Die Echounterdrückung führt in dieser Zeit die Faltung aus, aber nicht die Anpassung.

Neuer Double-Talk-Detector

Der Geigel DTD hat Probleme, wenn im Double-Talk Fall der eine Gesprächspartner leise, der andere laut redet: Die 6dB Schwelle wird nicht überschritten und Double-Talk wird nicht erkannt. Eine Idee aus der Börsen Chart-Analyse soll weiterhelfen. Wie bekannt, werden 200-Tage und 30-Tage gleitende Mittelwerte der Aktienkurse gebildet. Wenn nun die "schnelle" Kurve die "langsame" Kurve schneidet, dann sollen Aktien gekauft oder verkauft werden. Anstelle von Aktienkurswerten haben wir bei der Echounterdrückung das Verhältnis von Mikrofon- zu Lautsprechersignal. Mit Exponential Smoothing Formeln lassen sich schnelle und langsame gleitende Mittelwerte von Mikrofon-Signal $\hat{d}$ und Lautsprecher-Signal $\hat{x}$ bilden:

```
dfast += 0.01 * (fabsf(d) - dfast);  
xfast += 0.01 * (fabsf(x) - xfast);  
  
dslow += 0.0001 * (fabsf(d) - dslow);  
xslow += 0.0001 * (fabsf(x) - xslow);
```

Die vier gleitenden Mittelwerte können zu einem Verhältnis der Verhältnisse verrechnet werden:

```
ratio = (dfast / xfast) /  
        ( dslow / xslow);
```

Bei Single-Talk liegt `ratio` bei 1. Je größer `ratio` wird, umso mehr Double-Talk ist vorhanden. Mit `ratio` kann ein soft decision DTD realisiert werden: Anstelle einem Ein-/Ausschalten der LMS-Filter Adaption kann mehr oder weniger Adaption ausgeführt werden. Aus der Konstanten 1 in der `mikro` Formel wird die Variable `stepsize` mit dem Wertebereich von 0 bis 1,0. Die Umrechnung von `ratio` auf `stepsize` erfolgt über eine Kennlinie. Dabei führen große Werte von `ratio` (viel Double-Talk) zu kleinen Werten von `stepsize` und kleine Werte von `ratio` zu großen Werten von `stepsize`. Mit der Punktrichtungsform der Geradengleichung und Begrenzung gegen zu große oder zu kleine Werte ergibt sich:

```
// linker Punkt auf ratio nach  
// stepsize Kennlinie  
const float X1 = 1.0, Y1 = 1.0;  
// rechter Punkt auf ratio nach  
// stepsize Kennlinie  
const float X2 = 2.0, Y2 = 0;  
// Geradensteigung  
const float M = (Y2 - Y1) / (X2 - X1);  
  
if (ratio < X1) {  
    stepsize = Y1;  
} else if (ratio > X2) {  
    stepsize = Y2;  
} else {  
    // Punktrichtungsform der Geraden  
    stepsize = M * (ratio - X1) + Y1;  
}
```

Die Formel für `mikro` im Fall des soft decision DTD lautet somit:

```
mikro = stepsize / (<X, X> + delta)
```

Hardware

Für beste Echounterdrückung sollten die Lautsprecher- und Mikrofon-Signale Sample-synchron verarbeitet werden. Dank ALSA (Advanced Linux Sound Architecture) gibt es unter Linux auf PC Hardware folgende Möglichkeit der Stereo Aufnahme: Der linke Kanal nimmt das Mikrofon-Signal auf, der rechte Kanal das Lautsprecher-Signal. Soundchips, die vollständig den AC97 Standard von Intel unterstützen, beherrschen diesen besonderen Stereo-Modus. Getestet wurde erfolgreich mit den Onboard Soundchips Analog Devices AD1985, ICEnsemble ICE1232, Realtek ALC650 und ALC655, SigmaTel STAC9750/51 und VIA VT1612A. Bei den PCI-Soundkarten war der Test nur mit der heute nicht mehr lieferbaren Soundblaster PCI128 erfolgreich. Soweit bekannt, funktioniert diese spezielle Stereo-Aufnahme unter MS-Windows nicht.

Für VoIP-GS wird eine Sennheiser ME34 Mikrokapsel mit MZH3040 Schwanenhals und Behringer MIC100 Mikrofonverstärker verwendet. Der Mikrofonverstärker versorgt das Kondensator-Mikrofon mit der Phantomspannung von 48 Volt, enthält einen Limiter und verstärkt das Mikrofonsignal auf Line-In Pegel. Dadurch wird der oft schlechte Mikrofonverstärker im PC umgangen.

Zusammenfassung

An den Tower Erfurt, Leipzig, Dresden und Nürnberg und im NEWSIM Raum der RK München wurden VoIP-GS Test-Arbeitsplätze aufgebaut. Die Erprobung im betrieblichen Umfeld ergab eine insgesamt erfolgversprechende Qualität, wenngleich der heutige Stand des Systems aus verschiedenen Gründen noch keine Einführung für die operationelle Nutzung erlaubt. Im DFS-Simulatorumfeld ist VoIP dagegen seit etlichen Jahren erfolgreich im Einsatz, sowohl bei den en-route Simulatoren AFS, SimSys und NEWSIM, als auch bei Simulatorkopplungen im Rahmen JOINT, KATM und DTOP via VoIP-GS.

Glossar

AVENUE	ATM Validation Environment for Use towards EATMS
DTOP	Dual Threshold Operations
FFS	Full Flight Simulator
ISIS	Improved Speech Integrated System
JOINT	Joint operational Incident Training
KATM	Kooperatives Air Traffic Management
LAN	Local Area Network
LFT	Lufthansa Flight Training
RK	Regionalkontrollstelle
SME	System Management Einheit
SVS	Sprachvermittlungssystem
TID	Touch Input Device
TWR	Tower
VoIP	Voice over Internet protocol
VoIP-GS	Voice over Internet Protocol - Gegen-sprechen

Literatur

- [1] TE im Fokus 2/00: „AVENUE: Sprachkopplung Langen – Bretigny realisiert“
- [2] transmission Ausgabe Juli 2006 (Neue Schnittstelle hilft Kosten sparen)
- [3] Manual für die Gegensprechanwendung im Rahmen des KATM Projekts, März 2006
- [4] Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, 4. Edition, Prentice Hall, 2002
- [5] Michael Hutson, Bachelor Thesis, Acoustic Echo Cancellation using Digital Signal Processing, University of Queensland, 2003, <http://innovexpo.itee.uq.edu.au/2003/exhibits/s365914/>

Projekt MSP-DL: Ergebnisse der ersten Realzeitsimulation

Stephan Herr, Dr. Andreas Herber, TEA

Einleitung

Gegenstand des Projektes MSP-DL ist die Untersuchung von Arbeitsweisen und Verfahren mit Systemfunktionalitäten - wie z.B. Data Link oder Medium Term Conflict Detection (MTCD). Zwei Phasen von Realzeitsimulationen sind vorgesehen, wobei Phase 1, wie hier berichtet, abgeschlossen wurde. Die Betrachtung wurde auf den oberen Luftraum der Niederlassung Karlsruhe beschränkt, da nach der gegenwärtigen Centerplanung die entsprechenden Systemfunktionalitäten - mit P1/VAFORIT - dort zuerst zur Verfügung stehen werden.

Bereits in der letzten Ausgabe dieser Zeitschrift wurde das Untersuchungsdesign und die verwendete Infrastruktur für die erste Phase der Simulationen im Projekt MSP-DL erläutert [1]. Inzwischen sind die Ergebnisse ausgewertet und dokumentiert. Ein Überblick darüber wird mit diesem Artikel gegeben.

Analysemethode

Die Zielsetzung der durchgeführten Simulation bestand in der Untersuchung der folgenden Hypothesen:

- Mit der neuen Luftraumstruktur im Vergleich zur heutigen Struktur verringert sich die Lotsenarbeitslast bei gleich bleibender Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.
- Der Einsatz des Multi-Sector-Planners ermöglicht die Bearbeitung des Verkehrs mit dem gleichen Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsniveau wie bei der traditionellen Rollenaufteilung.

Die beiden obigen Hypothesen gelten sowohl für den heutigen Verkehr, als auch für den zukünftigen Verkehr, der auf ca. 120% des heutigen Verkehrs festgesetzt wurde.

Außerdem wurde die Anwendbarkeit der neuen Verfahren [5] im Zusammenspiel mit den technischen Funktionalitäten sowie die Auswirkung der Neuerungen auf Teamverhalten und -interaktion untersucht.

Die Vielzahl der Untersuchungsergebnisse würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. In diesem Artikel werden daher ausschließlich die wesentlichen Ergebnisse erläutert sowie exemplarisch einzelne Analysen. Weitere Details sind den Untersuchungsberichten [2], [3] zu entnehmen.

Alle während der Simulation erfassten objektiven und subjektiven Daten wurden in drei Untersuchungsbereiche gegliedert, die Abb. 1 entnommen werden können.

Untersuchungsbereich	Unterbereich
Bisherige (alte) vs. neue Luftraumstruktur	nur laterale Untersuchungskonfiguration / nur vertikale U., nur EBG West / nur EBG Central, nur obere / nur mittlere Sektoren
Traditionelle Rollenverteilung (EC+PC) vs. MSP	nur lateral / nur vertikal, nur MSP vertikal / nur MSP lateral, nur MSP mittlerer Verkehr / nur MSP hoher Verkehr
Mittlerer vs. hoher Verkehr (nur zur Verifikation der Untersuchungsmethoden)	insgesamt und einzelne Sektoren

Abb. 1: Untersuchungsbereiche

Luftraumstruktur alt vs. neu

Einer der Zielsetzungen der Simulation war der Vergleich der bisherigen mit einer neuen Luftraumstruktur, in der neben einer geänderten Sektorisierung neue Flugrouten zur Anwendung kamen.

a) Beobachtbare Tätigkeiten:

Die Anzahl und die Dauer von beobachtbaren Lotsentätigkeiten stellt eine wesentliche Größe zur Abschätzung von Belastung und Beanspruchung dar. Folgende Daten wurden erhoben:

- Die Anzahl der erteilten Freigaben – normiert auf 100 Luftfahrzeuge – ist in Abb. 2 dargestellt.
- Abb. 3 zeigt die Anzahl verbaler Koordination, normiert auf 100 Luftfahrzeuge.

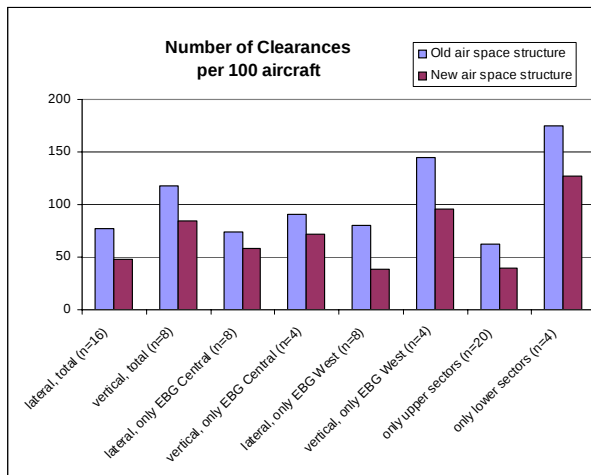


Abb. 2: Freigaben pro 100 Flugzeuge

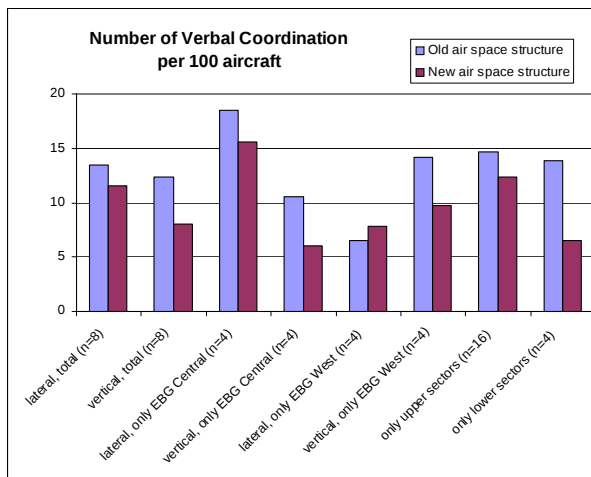


Abb. 3: Koordinationen pro 100 Flugzeuge

- Außerdem wurde der Anteil beobachtbarer Tätigkeiten bezogen auf die insgesamt verfügbare Zeit erfasst. Beispielhaft für den Executive Controller ist das Ergebnis dieser Analyse in Abb. 4 dargestellt.

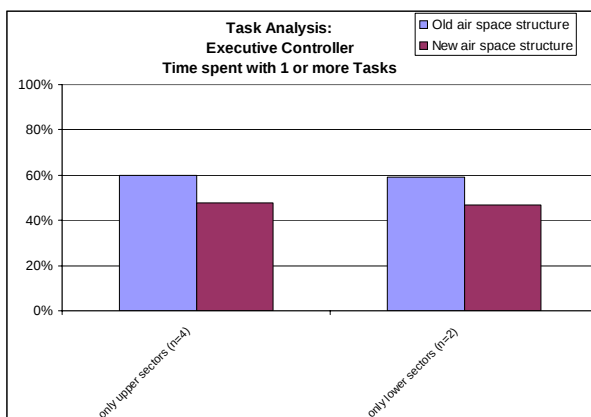


Abb. 4: Tätigkeitsanalyse Executive Controller

Bezüglich der Freigaben ergab sich beim neuen Luftraummodell eine Reduktion in allen Unterbereichen. Der verbale Koordinationsaufwand lag beim neuen Luftraummodell insgesamt niedriger, beide Untersuchungsgebiete zeigten aber - bedingt durch die elektronische Koordination - ohnehin schon sehr geringe Werte im Vergleich zu einer 2002 durchgeführten Analyse im Center Karlsruhe [4]. Der Anteil beobachtbarer Tätigkeiten bezogen auf die insgesamt verfügbare Zeit zeigt eine Reduktion in der neuen Luftraumstruktur. Hierbei ist allerdings die geringe Stichprobenanzahl zu berücksichtigen.

b) Beanspruchung:

Zur Einschätzung der Beanspruchung wurde eine on-line Befragung der Probanden während der Simulation durchgeführt (NASA-Taskload Index). Die Werte für den Parameter „Mental Demand“ und den Executive Controller zeigt Abb. 5.

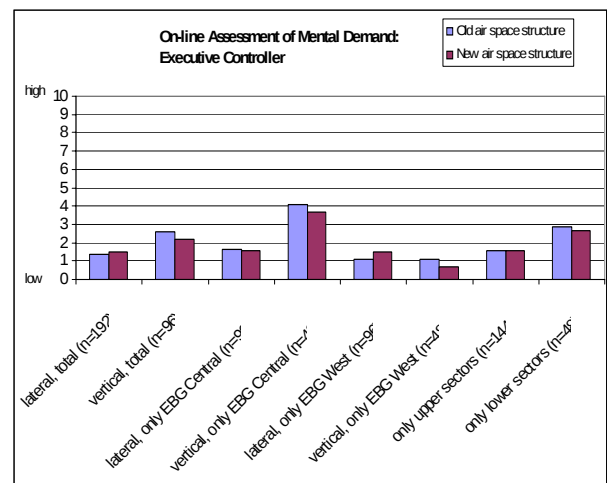


Abb. 5: Online Assessment Mental Demand (EC)

Die Unterschiede zwischen altem und neuem Luftraum waren sehr gering und lassen keine eindeutige Tendenz erkennen. Die Messmethode zeigte insgesamt eine geringe Sensitivität (wie auch im Vergleich mit mittlerem und hohem Verkehr).

c) Sicherheit:

Die Einschätzung der Sicherheit wurde mit Fragebögen und anhand der Aussagen aus den strukturierten Interviews ermittelt. Die Fragen

deckten folgende Themenbereiche ab:

- das Vertrauen in die eigene Arbeit / Arbeit des Teams
- die angewandten Verfahren (ToC-ToC, „silent vertical handover“, 5-Minuten-Regel) im Vergleich zur heutigen Situation
- das Vertrauen in die eingesetzten Tools (insb. MTCD)
- das Situationsbewusstsein
- die Einschätzung der sicheren Bearbeitung des Verkehrs

Das Ergebnis zum Bereich „Vertrauen in die Arbeit des Teams“ zeigt Abb. 6, das Ergebnis für den Bereich „Verfahren ToC-ToC“ ist in Abb. 7 dargestellt.

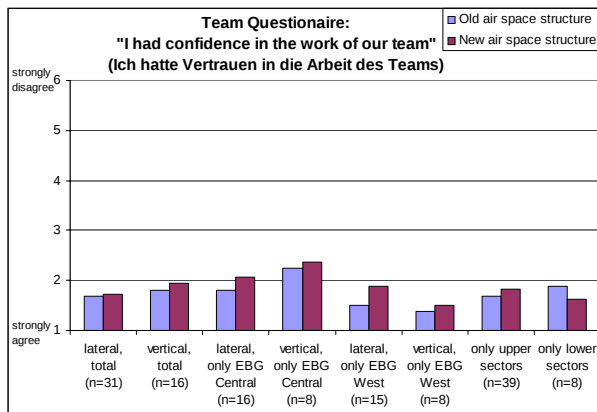


Abb. 6: Post-run-Fragebogen „Vertrauen in die Arbeit des Teams“

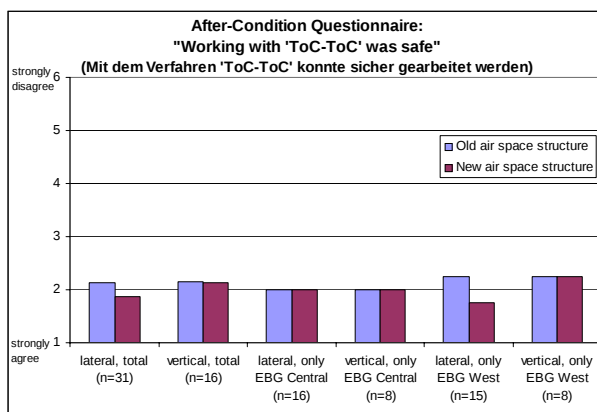


Abb. 7: Post-run-Fragebogen zum Verfahren „ToC-ToC“

Das Vertrauen in die eigene Arbeit und in die Arbeit des Teams war hoch, mit leichter Tendenz zu Gunsten der alten Luftraumstruktur. Die Ver-

fahren konnten generell sowohl in der bisherigen wie auch der neuen Luftraumstruktur angewendet werden und wurden als sicher betrachtet. Allerdings bestand kein Vertrauen in die Funktionalität MTCD. Bedingt durch technische Unzulänglichkeiten, die für die nächste Simulation verbessert werden müssen, konnten die Lotsen sich nicht auf die Konfliktanzeige verlassen. Zusätzlich wurde in einigen Fällen eine Informationsüberlastung der Fluglotsen durch zu viele Anzeigen beobachtet.

d) Wirtschaftlichkeit der Flugprofile:

Letztes Kriterium in diesem Untersuchungsbe- reich war die Wirtschaftlichkeit, die anhand folgender Kennwerte erhoben wurde:

- der Einschätzung der Lotsen aus dem strukturierten Interview bezüglich der Planbarkeit des Verkehrs
- die durchschnittliche Sektordurchflugzeit und die Anzahl der bearbeiteten Flugstunden (Abb. 8):

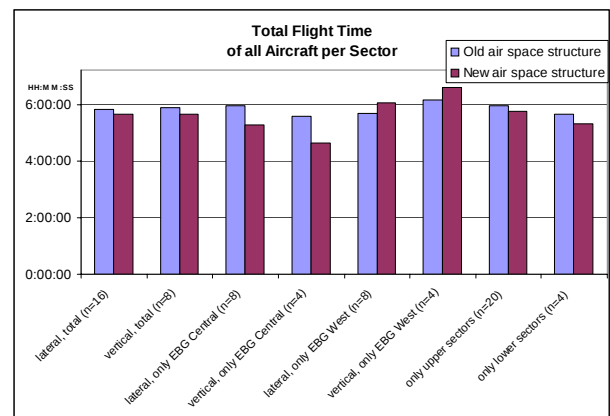


Abb. 8: Anzahl der bearbeitenden Flugstunden

Die Planbarkeit des Verkehrs bewegt sich für beide Luftraumstrukturen auf ähnlichem Niveau (mit geringer Tendenz zugunsten der neuen Struktur in lateraler Konfiguration). Die bearbeiteten Flugstunden haben sich geringfügig reduziert, und es fand eine Verschiebung von der EBG Central zur EBG West statt.

Fazit Luftraumstruktur alt vs neu:

Der Anteil der beobachtbaren Tätigkeiten zeigt eine deutliche Reduktion in der neuen Luftraumstruktur. Diese Reduktion spiegelt sich nicht in

der subjektiven Einschätzung der Beanspruchung wider, was jedoch auf den unterschiedlichen Trainingsstand bezüglich der beiden Strukturen, sowie auf die geringe Sensitivität dieser Messmethode zurückgeführt werden kann. Die Simulation lässt keine Anzeichen für ein geringeres Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsniveau (der Flugprofile) in der neuen Struktur erkennen. Für eine endgültige Einschätzung der Sicherheit sind jedoch weitere Validierungsaktivitäten erforderlich. Die beabsichtigte Verlagerung von der EBG Central zur EBG West wurde erreicht, allerdings liegt die Anzahl der Luftfahrzeuge im neuen Sektor Karlsruhe sehr hoch; dieser Sektor ist daher in weiteren Untersuchungen besonders zu betrachten.

Traditionelle Rollenverteilung (EC+PC) vs. MSP

Analog zur Gegenüberstellung der bisherigen mit der neuen Luftraumstruktur wurden die Unterschiede im Vergleich zwischen der traditionellen Rollenverteilung und dem Einsatz des MSP analysiert:

- **Beobachtbare Tätigkeiten:** Bei den Freigaben zeigt sich kein signifikanter Unterschied; die Anzahl der verbalen Koordination bewegt sich auf ähnlichem Niveau wie bei der traditionellen Rollenverteilung. Auch bezüglich des Gesamtanteils der beobachtbaren Tätigkeiten zeigte sich keine Veränderung im Vergleich zwischen den Untersuchungsbedingungen..
- **Beanspruchung:** Die Beanspruchung wurde bei den MSP-Bedingungen für den MSP höher eingeschätzt als für den PC. Beim EC zeigte sich nur eine sehr geringe Tendenz in die gleiche Richtung.
- **Sicherheit:** Die Einschätzungen aus den Fragebögen und den strukturierten Interviews zeigten nur wenig Unterschied zwischen EC+PC- und MSP-Bedingungen. Lediglich das Verfahren „silent vertical handover“ wurde bei EC+PC-Bedingungen günstiger bewertet.
- **Wirtschaftlichkeit der Flugprofile:** Auch bezüglich der Wirtschaftlichkeit sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Untersuchungsbedingungen zu beobachten.

Fazit traditionelle Rollenverteilung (EC+PC) vs. MSP:

Der Anteil der beobachtbaren Tätigkeiten bewegt sich für die MSP Bedingungen auf ähnlichem Niveau wie für die traditionelle Rollenverteilung. Speziell für die Rolle des MSP überrascht dieses Ergebnis, da der MSP seine Aufgaben für zwei Sektoren zu erfüllen hat. Möglicherweise erklärt sich das Ergebnis durch unterschiedliche Arbeitsweisen von PC und MSP trotz identischer Verfahrensbeschreibungen für beide Rollen (siehe auch Abschnitt „Blickbewegungs- und Videoanalyse“). Die Simulation liefert keine Anzeichen für ein geringeres Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsniveau außerhalb der simulierten Verkehrsspitzen. Für eine endgültige Einschätzung sind jedoch auch hier noch weitere Validierungsaktivitäten erforderlich.

Verkehrslast medium vs. hoch

Die Analysen bezüglich der Veränderung der Verkehrslast dienten primär der Verifikation der Untersuchungsmethoden:

- **Beobachtbare Tätigkeiten:** Bezogen auf 100 Lfz. hat sich die Anzahl der Freigaben wie erwartet nicht geändert. Die Zahl der verbalen Koordination und der Gesamtanteil der beobachtbaren Tätigkeiten erhöhte sich erwartungsgemäß mit höherem Verkehr.
- **Beanspruchung:** Die Einschätzung der Beanspruchung zeigte nur geringe Unterschiede zwischen den Verkehrslasten „mittel“ und „hoch“. Wie bereits im Vergleich zwischen der bisherigen und der neuen Luftraumstruktur zeigt die Messmethode nur eine geringe Sensitivität.
- **Sicherheit:** Die Team-bezogenen Fragen wurden gleich gut beantwortet, aus den strukturierten Interviews ergaben sich wie erwartet höhere Werte für die Szenarien mit weniger Verkehr.
- **Wirtschaftlichkeit der Flugprofile:** Wie erwartet war die Vorplanung des Verkehrs bei hoher Verkehrslast schwieriger, und die Anzahl der bearbeiteten Flugstunden war höher.

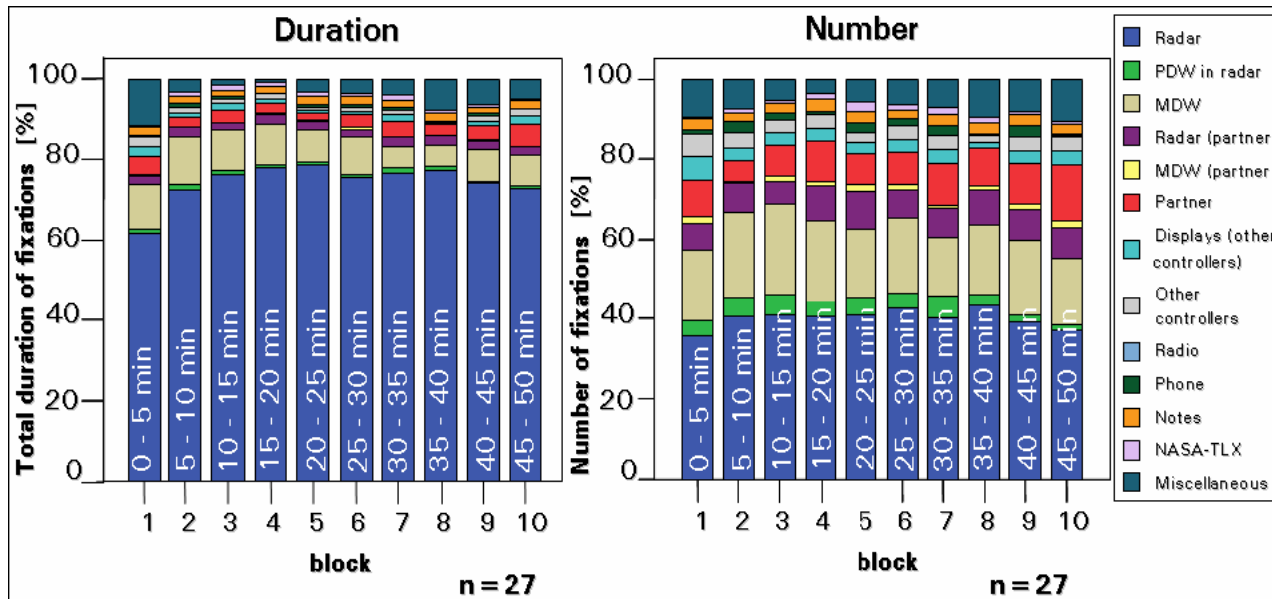


Abb. 9 Ergebnis Eye-Tracking (alle Simulationsläufe)

Blickbewegungs- und Video-Analyse

Dies war die erste Simulation bei TE, in der in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft, eine Analyse von Blickbewegung und Kopf- bzw. Körperhaltung durchgeführt wurde. Aufgrund des Aufwandes konnten diese Untersuchungen nur exemplarisch durchgeführt werden.

Aus der Blickbewegungsanalyse ergab sich, dass das Main Data Window (MDW) neben dem Radar eine wichtige Informationsquelle ist; das MDW wurde häufig, aber mit relativ geringer

Zeitdauer konsultiert. Die entsprechende Auswertung ist in Abb. 9 dargestellt.

Interessant sind auch die Ergebnisse bezüglich der beobachteten Arbeitsweise, die allerdings nur für einem Simulationslauf ausgewertet wurden (s. Abb. 10). Bezüglich der Planung (innerhalb und außerhalb des eigenen Sektors) zeigten sich für EC (hier: ZE) und PC (hier: ZP) ähnliche Werte – beim MSP (hier: ZZ) aber verlagert sich dessen Aufmerksamkeit deutlich mehr auf das Gebiet außerhalb des eigenen Sektors, also auf den zukünftigen Verkehr. Trotz identischer Verfah-

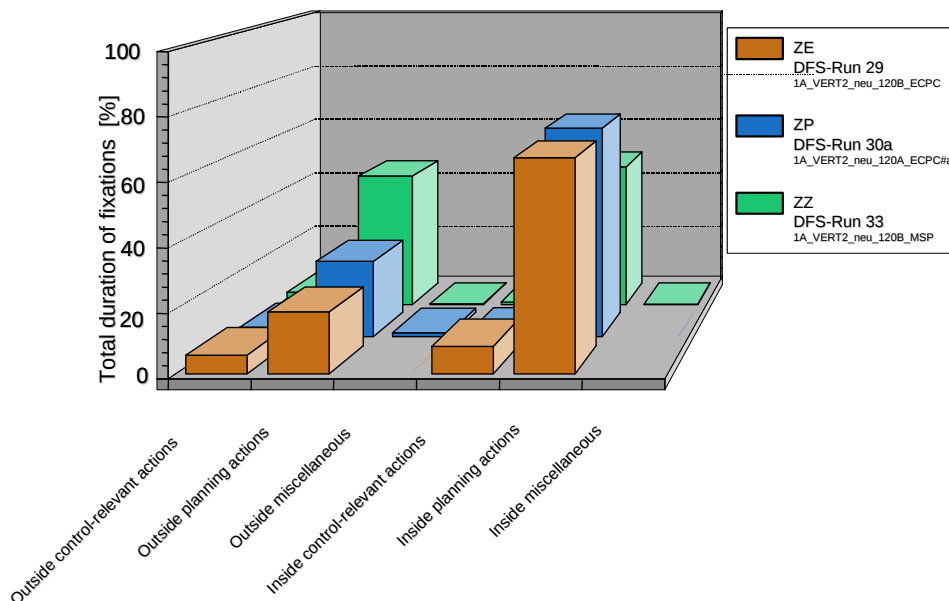


Abb. 10 Ergebnis Analyse der Planungsaktivität

rensanweisungen können unterschiedliche Arbeitsweisen beobachtet werden. Während der MSP sich wie gefordert auf den zukünftigen Verkehr konzentriert, tendiert der Planner stärker dazu, auch Aufgaben für den aktuellen Verkehr zu übernehmen. Diese Erkenntnis wird durch Aussagen aus den strukturierten Interviews gestützt.

Ausblick

Derzeit wird Phase 2 der Simulationen vorbereitet, in der unter anderem der Einsatz von Data Link sowie ein weiteres Luftraummodell in Simulationen untersucht werden soll. Außerdem soll das MTCD technisch und operationell verbessert werden, u.a. durch eine verbesserte Trajektorienberechnung und durch den Einsatz verschiedener Filterketten, um eine Informationsüberlastung der Fluglotsen zu verhindern. Von diesen Arbeiten wird zu gegebener Zeit wieder berichtet werden.

Glossar

D/L	Data Link
EBG	Einsatz-Berechtigungsgruppe
EC	Executive Controller
MDW	Main Data Window
MSP	Multi Sector Planner
MTCD	Medium Term Conflict Detection
PC	Planning Controller
ToC-ToC	Transfer of Communication = Transfer of Control

Literatur

- [1] Erste Realzeitsimulationen in Projekt MSP-D/L, TE im Fokus 1/06
- [2] MSP D/L, Real Time Simulation Phase 1, Final Report, Version 0.3, 19.10.2006
- [3] Ergonomic Analysis to support the DFS controller real-time simulation, IAD report no. F278 DF1SD3
- [4] Erstellung von Vorschlägen für zukünftige Arbeitsabläufe unter Berücksichtigung der durch VAFORIT veränderten Arbeitsumgebung (inkl. Ist-Analyse), 27.03.2002
- [5] MSP D/L: Simulationshandbuch "Realzeitsimulationen Phase 1": Luftraum / Verfahren / System, PD-2006-02

DTOP-Simulation bei TE:

Untersuchung der Arbeitbarkeit, der Kapazitätseffekte sowie der Beanspruchung von Fluglotsen beim Betrieb zweier Schwellen auf einer Landebahn

Oliver Haßa, Eliana Haugg, TEH

1. Einführung

Die Verkehrsdichte im Luftraum Mitteleuropas zählt bereits jetzt zu den höchsten weltweit. Alle Prognosen gehen dennoch von einer weiteren Steigerung der Verkehrszahlen aus. Insbesondere im Bereich der Flughäfen befindet sich das System Luftverkehr bereits in der Sättigung. Eine weitere Steigerung der Verkehrszahlen wird zu einer wachsenden Zahl an Verspätungen führen.

Einer der Engpässe ist die verfügbare Landekapazität. Viele deutsche und internationale Flughäfen sind mit der Notwendigkeit einer Kapazitätssteigerung konfrontiert. Eine erfolgreiche und schnelle Durchführung des damit verbundenen Infrastrukturausbaus ist oft nicht möglich, da dies einen tiefen Eingriff in die vorhandene Siedlungs- und Industrieinfrastruktur erfordert.

Auf dem Flughafen Frankfurt/M. stehen dem anfliegenden Verkehr zwei parallele Bahnen für die Landung zur Verfügung. Aufgrund des zu geringen Abstandes zwischen diesen beiden Landebahnen können diese jedoch nicht unabhängig voneinander betrieben werden und sind daher als eine einzige Landebahn zu betrachten. Die daraus resultierende große Wirbelschleppenstaffelung schränkt die Kapazität des Anflugbereichs des Flughafens und somit die gesamte Flughafenkapazität erheblich ein.

2. Zweisehwellenbetrieb

Eine Reduktion der oben aufgeführten Problematik könnte die Einführung einer zusätzlichen, versetzten Schwelle ermöglichen. Beim Anflugverfahren High Approach Landing System (HALS) wird durch die Einrichtung einer versetzten Landeschwelle ein ausreichender vertikaler Abstand zwischen den Anflugpfaden der benachbarten Parallelbahnen erzeugt, wodurch eine engere Anflugstaffelung unter Beibehaltung der hohen Sicherheitsstandards der ICAO hinsichtlich der Wirbelschleppenengefahr ermöglicht wird. Ein Probetrieb dieses Verfahrens zeigte jedoch eine im Vergleich zum konventionellen Betrieb geringere operationelle Flexibilität [3].

Im Gegensatz zum HALS-Betrieb, bei dem ausschließlich die versetzte Schwelle aktiv ist, sind beim Zweisehwellenbetrieb (Dual Threshold Operations, DTOP) beide Landeschwellen gleichzeitig in Betrieb und werden angeflogen (siehe auch Bild 1). DTOP soll die Staffelvorteile von HALS mit der betrieblichen Flexibilität des konventionellen Betriebes verknüpfen und damit den größten Kapazitätsgewinn ermöglichen.

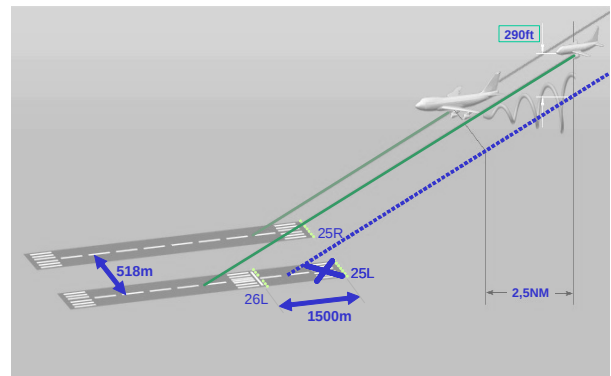


Bild 1: DTOP Verfahren

Vor der Einführung eines solchen Verfahrens müssen Arbeitbarkeit und Kapazitätseffekte sowohl luft- als auch bodenseitig untersucht werden.

Die im Vergleich zur ICAO-Befeuerung optisch veränderte Situation im Anflug wurde in einer vorausgehenden Studie im Hinblick auf die Fliegbarkeit, Beanspruchung und das Verhalten der Piloten bezüglich zugelassener Vergleichsszenarien evaluiert [10]. Dabei zeigte sich, dass die Landung auf der doppelt befeuerten Landebahn keine signifikante Mehrbelastung der Piloten darstellt [12, 13].

Als nächster Schritt ist es erforderlich, auch die Bodenseite zu untersuchen. Dazu wurden die Arbeitbarkeit und die Kapazitätseffekte im Flughafenbereich Frankfurt in einer Studie evaluiert. In dieser wurden zwei Realzeit-Simulatoren (En-route/TMA- und Towersimulator) miteinander gekoppelt und eine mehrwöchige Simulation durchgeführt.

3. Ziele der Untersuchung

Die Realzeitsimulation „Dual Threshold Operations am Flughafen Frankfurt am Main“ (DTOP Simulation) hatte folgende Ziele:

- Untersuchung der bodenseitigen Arbeitbarkeit der entworfenen Betriebsverfahren.
- Ermittlung der möglichen Kapazitätssteigerung durch ein DTOP Verfahren.

Die Untersuchung vergleicht die konventionelle Arbeitsweise ohne DTOP Verfahren mit der Arbeitsweise mit DTOP Verfahren. Dabei wurde der Schwerpunkt zunächst auf die Arbeitbarkeit gelegt, da diese Voraussetzung für eine Kapazitätssteigerung ist.

4. Simulationsumgebung

Simulatoren

Um eine realitätsnahe Untersuchung zu gewährleisten, wurden zwei Realzeitsimulatoren gekoppelt. Als En-route/TMA-Simulator wurde der Advanced Function Simulator (AFS) des Bereiches Forschung und Entwicklung der DFS eingesetzt. Dieser wurde durch einen Towersimulator (TOSIM) ergänzt. Am Towersimulator standen ein Lotsenarbeitsplatz sowie zwei Arbeitsplätze für Simulationspiloten zur Verfügung. Am AFS wurden die gemessenen Lotsenpositionen simuliert. Insgesamt wurden am AFS vier Lotsenarbeitsplätze, fünf Simulationspiloten und zwei Arbeitsplätze für den umgebenden Luftraum simuliert (siehe auch Bilder 2 und 3).

Dem Fluglotsen stand in der Simulation ein Lotsenarbeitsplatz ähnlich dem im Betrieb verwendeten Flugsicherungssystem P1 einschließlich Papierkontrollstreifen zur Verfügung (siehe Bild 3 und [4]).

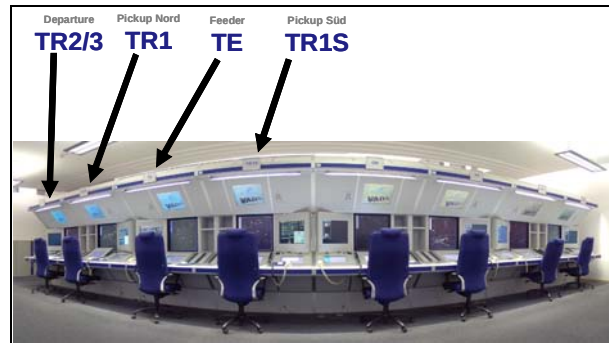


Bild 3: Lotsenarbeitsplätze am AFS

Simulationsluftraum

Der Simulationsluftraum bestand im Wesentlichen aus dem Flughafennahbereich Frankfurt (Terminal Manoeuvring Area, TMA) (siehe Bild 4). Um die Nahtstellen der TMA realitätsnahe darstellen zu können, wurde der Flughafennahbereich durch zwei weitere, vereinfacht simulierte Bereiche ergänzt. Die TMA wurde in der Simulation von einem ringförmigen Luftraum umschlossen, der automatisch kontrolliert wurde. An zwei vereinfachten Arbeitspositionen (Adjacent Controller Nord und Süd, ADJ1/2) konnte der Verkehr in diesem Bereich beeinflusst werden.

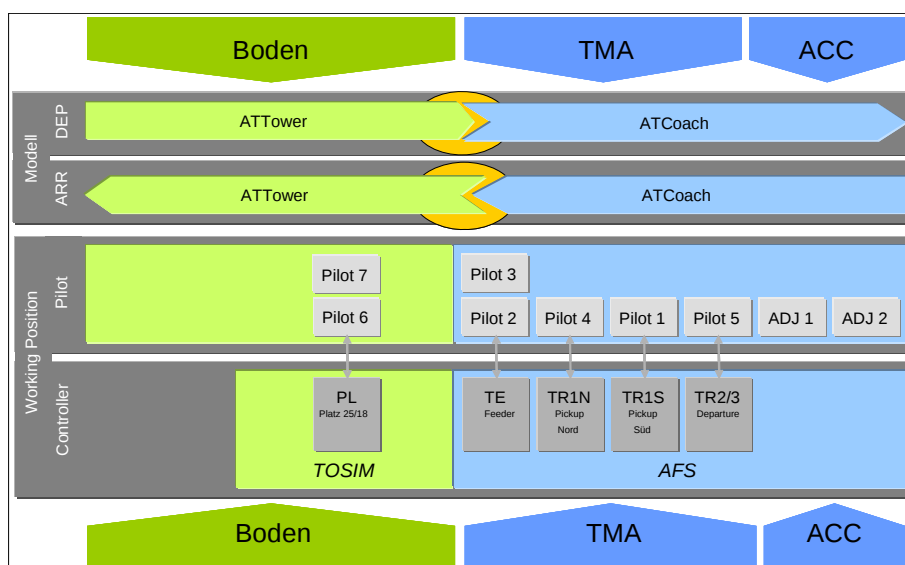


Bild 2: Simulatorkopplung AFS/TOSIM

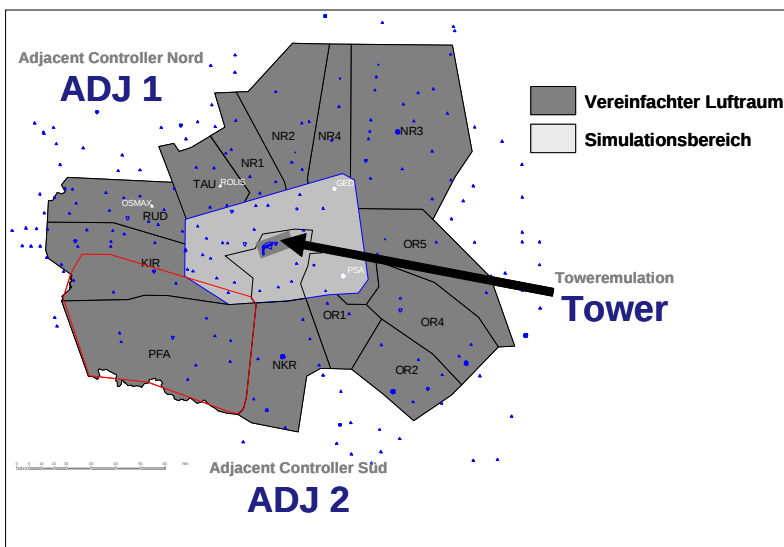


Bild 4: Simulationsluftraum

Der innerhalb der TMA liegende Zuständigkeitsbereich des Tower wurde in der Simulation durch einen an den AFS angekoppelten Towersimulator (TOSIM) vereinfacht simuliert.

Der gemessene Luftraum umfasst den Zuständigkeitsbereich der Anflugkontrolle Frankfurt (Frankfurt Approach, APP EDDF). Dieser beinhaltet den Luftraum C innerhalb der lateralen Grenzen der Frankfurt TMA bis zur Flugfläche FL115. Die höchste nutzbare Flugfläche ist FL110.

An- und Abflugverfahren

Für den Flughafen Frankfurt sind zwei unterschiedliche Anflugverfahren definiert: Standard Arrival Routes (STAR, Standard-Instrumenteneinflugstrecken) und Flächennavigationsverfahren (Area Navigation Procedures, RNAV) [5, 6].

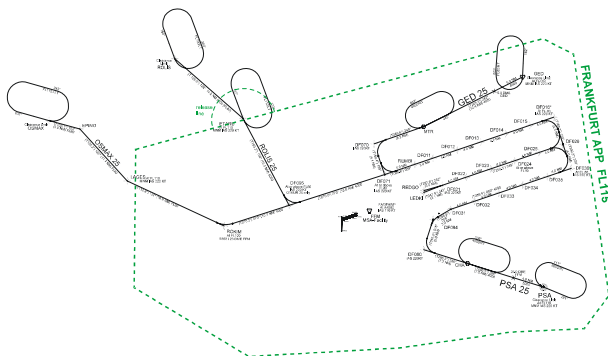


Bild 5: Transitions to Final Approach (Betriebsrichtung 25)

Die Flächennavigationsverfahren werden allgemein als „Transition to Final Approach“ bezeichnet. Diese entsprechen dem am jeweiligen Flughafen praktizierten Radarführungsverhalten. Diese Verfahren beginnen am Übergabepunkt zwischen Strecken und Anflugkontrolle und enden am gemeinsamen Endanflugpunkt bzw. Endanflugwegpunkt der für eine gegebene Landebahn veröffentlichten Anflugverfahren. Zusätzlich wurden optional durch den Lotsen zur Bewegungslenkung zu nutzende Wegpunkte im Gegenanflug und Endanflug definiert und stehen bordseitig durch eine Navigationsdatenbank zur Verfügung.

Durch Anwendung dieser Verfahren wird u.a. eine Reduzierung des Sprechfunkverkehrs sowie eine optimierte Flugführung im Anflugbereich ermöglicht. Das Eindrehen zum Endanflug erfolgt zur beschleunigten Verkehrsabwicklung bzw. aus Staffelungsgründen üblicherweise durch Radarführung.

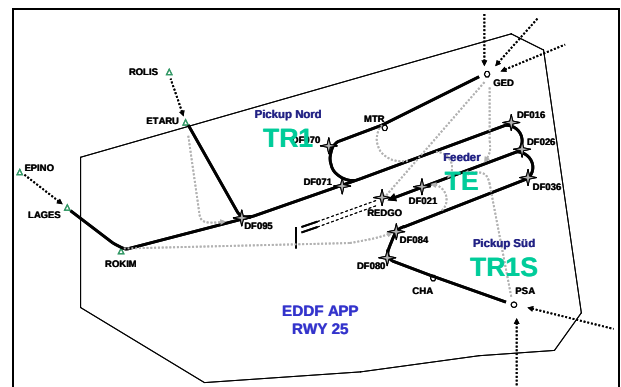


Bild 6: Anflugverfahren Frankfurt (vereinfacht)

In der Praxis werden innerhalb des Flughafenbereiches Frankfurt von den Fluglotsen die „Transition to Final Approach“ oder bei geringerem Verkehrsaufkommen die direkte Radarführung zum Endanflug bevorzugt.

Alle genannten Anflugverfahren beginnen an einem der vier folgenden Übergabepunkte Strecken-/Anflugkontrolle [1]:

- PSA (Spessart)
- GED (Gedern)
- ROLIS

■ OSMAX

Im Bereich der Abflüge werden in der TMA Frankfurt vom Abfluglotsen die veröffentlichten Abflugstrecken (SID, Standard Instrument Departure Route) genutzt [5, 6].

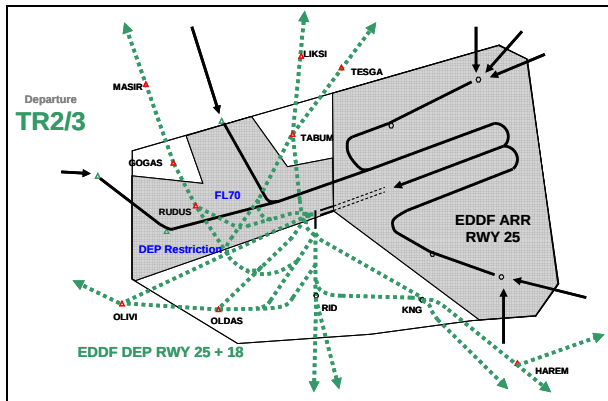


Bild 7: Abflugverfahren Frankfurt (vereinfacht)

Für das DTOP-Verfahren wurden im Rahmen der Untersuchung spezielle Anflugverfahren definiert [9]. Diese basierten auf den bestehenden konventionellen Verfahren [2, 5] und auf den Verfahren des HALS-Probebetriebes [3].

Arbeitspositionen

Simuliert wurde die TMA Frankfurt mit folgenden Arbeitspositionen:

- Pickup North (TR1N, Radaranfluglotse Nord)
- Pickup South (TR1S, Radaranfluglotse Süd)
- Feeder (TE, Radaranfluglotse „Einspeiser“)
- Departure (TR2/3, Radarabfluglotse)
- Tower (PL, Platzlotse, vereinfacht simuliert)

Hinzu kommen in vereinfachter Form die umliegenden Center Sektoren, die in die TMA hineinarbeiten:

- Adjacent Controller Nord (ADJ1)
- Adjacent Controller Süd (ADJ2)

Der Pickup North ist verantwortlich für die Anflüge über die Übergabepunkte GED, ROLIS und OSMAX. Anflüge über den Punkt PSA werden vom Pickup South kontrolliert. Beide Pickup-Lotsen übergeben die Anflüge an den Feeder. Dieser ist für das Eindrehen auf den Endanflug und den Endanflug selbst verantwortlich. Die Übergabegrenze zwischen Pickup und Feeder ist variabel und unter anderem von der jeweiligen

Verkehrssituation abhängig. Vom Feeder werden die Luftfahrzeuge anschließend an den Platzlotsen übergeben.

Abflüge aus Frankfurt werden von den Abfluglotsen TR2 (Abflüge nach Süden) und TR3 (Abflüge nach Norden) kontrolliert. Wie in der Praxis auch, wurden in der Simulation beide Bereiche von einem kombinierten Arbeitsplatz (TR2/3) aus kontrolliert.

Verkehrsbeispiele

Um einen hohen Realitätsgrad zu gewährleisten, wurden die Verkehrsbeispiele anhand von Aufzeichnungen realen Luftverkehrs zusammengestellt. Jeder Simulationslauf hatte eine Dauer von 90 Minuten. Davon dienten die ersten 15 Minuten als Vorlaufzeit, um den Verkehr in die TMA einfliegen zu lassen. Die folgenden 60 Minuten bildeten die eigentliche Messzeit, die später ausgewertet wurde. Die verbleibenden 15 Minuten des Szenarios dienten als Puffer.

Die Szenarien beinhalteten An- und Abflüge Frankfurt inklusive Abflüge von der Startbahn 18 (West). Die Simulation beinhaltete darüber hinaus folgende Randbedingungen:

- Betriebsrichtung: BR25
- Kein Wind
- Standard-Luftdruck
- Meteorologische Sicht: 4000m
- Hauptwolkenuntergrenze: 400ft

5. Experimentelles Design

In der Simulation wurden zwei zentrale Ziele untersucht [8]. Das erste Ziel war die Untersuchung der Arbeitbarkeit des DTOP Verfahrens. Das zweite Ziel war die Untersuchung möglicher Auswirkungen des DTOP Verfahrens auf die luftseitige Flughafenkapazität im Fall einer grundsätzlichen Arbeitbarkeit des Verfahrens.

Die Durchführung der Simulation orientiert sich in der inhaltlichen Gliederung an den vom EU Projekt MAEVA⁴ gesetzten Standards für Realzeitsimulationen [11].

⁴ Projekt „Master ATM European Validation Plan“, gefördert von der Europäischen Kommission, DG TREN, im 5. Rahmenprogramm (www.maeva.isdefe.es)



Bild 8: Arbeitspositionen in der Simulation

In der Simulation wurden vier verschiedene Versuchsbedingungen gemessen. Dabei gab es Szenarien mit einem geringeren Anteil an Luftfahrzeuge der WTC Kategorie „Heavy“, sowie Szenarien mit einem höheren Anteil an schweren Lfz. Diese Szenarien werden im Folgenden als „10 Heavies“ und „20 Heavies“ bezeichnet.

Die Gesamtanzahl der Luftfahrzeuge war in beiden Szenarien gleich und entsprach einem Hochlastszenario. Alle Szenarien beinhalteten die gleiche Anzahl und die gleiche Verteilung von Abflügen.

Jedes der beiden Szenarien wurde sowohl mit DTOP als auch ohne DTOP, also gemäß den aktuellen Betriebsverfahren [2, 5], bearbeitet. Insgesamt wurden vier Trainingsläufe sowie sechs gemessene Runs pro Versuchsbedingung durchgeführt.

Während der Simulation wurden objektive und subjektive Daten erhoben. Zu den objektiven Daten gehörten Aufzeichnungen aus dem Simulator, beispielsweise Radarpositionsdaten, Aufzeichnungen des Funkverkehrs oder Pilotenkommandos.

Subjektive Daten wurden anhand verschiedener Fragebogen erhoben, dazu gehörten ein Demographischer Fragebogen und ein Trainingsfragebogen zu Beginn der Simulationskampagne, ein Post-Run Fragebogen nach jeder Messung und ein Abschlussfragebogen am Ende der Simulationskampagne. Weiterhin wurde während den Messungen alle 10 Minuten der NASA-TLX [7]

auf dem Touch Input Device elektronisch eingeblendet und von den Teilnehmern per Fingerdruck ausgefüllt. Nach jeder Messung wurde zudem ein strukturiertes Interview durchgeführt.

Die Teilnehmer der Untersuchung waren 11 Lotsen der DFS. Darunter hatten 10 Lotsen bereits Erfahrung mit HALS gemacht. Im Durchschnitt waren die Lotsen 35.5 Jahre alt und hatten durchschnittlich 10.6 Jahre Erfahrung als Lotsen im Bereich Frankfurt Approach. Bild 8 zeigt den Aufbau der Untersuchung. An den Lotsenpositionen sind der Departurelotse (TR2/3), Pickup Nord (TR1N), Feeder (TE) und Pickup Süd (TR1S) zu sehen. Hinter den Lotsen sitzen Mitarbeiter der TU Berlin, die bei der Untersuchung eine Tätigkeitsanalyse durchführten, sowie ein Beobachter der DFS.

6. Ergebnisse

Für die vier Versuchsbedingungen wurden jeweils die Anzahl der Anflüge und Abflüge analysiert. Bild 9 zeigt die durchschnittliche Gesamtanzahl der An- und Abflüge für die vier Versuchsbedingungen. Die Säule der Anflüge fasst hierbei die Anflüge auf die Schwellen 25L und 25R, als auch die der Schwelle 26L bei Messungen mit DTOP zusammen.

Die Säule für die Abflüge fasst die Abflüge auf den Bahnen 25R und 18 zusammen.

Die Abbildung zeigt, dass in Messungen mit „10 Heavies“ bei der Nutzung des DTOP Verfahrens mehr Lfz. zur Landung gebracht werden konnten,

als bei der Arbeit mit den aktuellen Betriebsverfahren. In Messungen mit „20 Heavies“ war es ebenfalls möglich, mit Hilfe des DTOP Verfahrens mehr Lfz. zur Landung zu bringen. In den Versuchsbedingungen mit „10 Heavies“ konnten bei Nutzung des DTOP Verfahrens jedoch marginal weniger Lfz. abfliegen, als in Messungen ohne DTOP. In Runs mit „20 Heavies“ zeigte sich diese Tendenz verstärkt. Es konnte eine klare negative Auswirkung des DTOP Verfahrens auf die Abflugkapazität im Vergleich zu den Referenzmessungen ohne DTOP festgestellt werden.

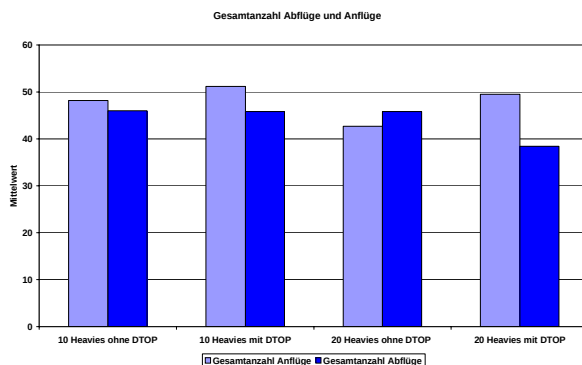


Bild 9: Gesamtanzahl Anflüge und Abflüge

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Gesamtanzahl der An- und Abflüge in Messungen ohne DTOP ist allerdings zu beachten, dass diese hohe Anzahl im realen Verkehr nicht erreicht wird. Der Durchsatz ist im realen Verkehr unter den gegebenen Wetterbedingungen wesentlich geringer. Trotzdem kann tendenziell mit einer erhöhten Anzahl von Anflügen bei der Nutzung des DTOP Verfahrens gerechnet werden. Auf der anderen Seite muss aber auch von einer Verringerung der Abflugkapazität bei einer hohen Anzahl an Lfz. der WTC Kategorie „Heavy“ und der Arbeit mit DTOP ausgegangen werden.

Zusätzlich zu den objektiven Daten wurde auch die subjektive Meinung der Lotsen erhoben. Bild 10 zeigt die Beurteilung des DTOP Verfahrens im Abschlussfragebogen. Die Lotsen schätzten Aussagen zur Effizienz, Flexibilität und Sicherheit des Verfahrens auf einer Skala von eins bis sechs ein (1=stimmt nicht; 6=stimmt). Die Aussagen stellen jeweils die Arbeit mit DTOP der Arbeit den aktuellen Betriebsverfahren gegenüber.

Die Grafik zeigt, dass es nach Meinung der Lotsen möglich war, sowohl mit den aktuellen Betriebsverfahren, als auch mit dem DTOP Verfah-

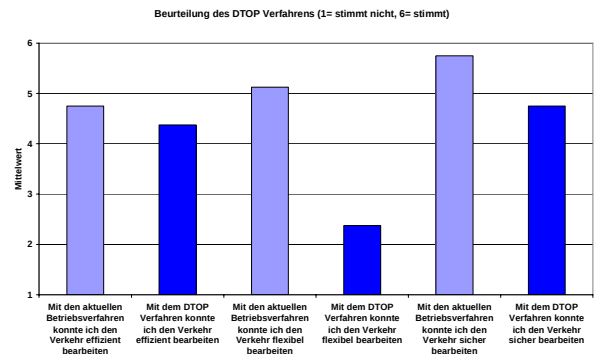


Bild 10: Beurteilung des DTOP Verfahrens

ren effizient zu arbeiten. Bezüglich der Flexibilität wurde das DTOP Verfahren wesentlich schlechter bewertet als die aktuellen Betriebsverfahren, obwohl das DTOP Verfahren dem Lotsen theoretisch mehr Optionen bietet (25L, 26L, and 25R). Grund für die geringe Flexibilität bei der Arbeit mit dem DTOP Verfahren ist die Tatsache, dass bei einer Abweichung von der für das DTOP Verfahren aufgebauten Sequenz, beispielsweise durch einen Go-Around, die gesamte Sequenz neu aufgebaut werden muss. Dieser Neuaufbau ist bei der Anwendung von DTOP aufwändiger als bei Standardverfahren, da eine optimale Sequenz für DTOP Anflüge mit den verschiedenen Stafflungsabständen und Anflughöhen wiederhergestellt werden muss. Insgesamt führte dies zu einer erhöhten Belastung und Beanspruchung.

Das DTOP Verfahren wurde von den Lotsen auch als weniger sicher eingeschätzt als die aktuellen Betriebsverfahren. Trotzdem lag die Einschätzung über dem Mittelwert.

Bei der Betrachtung der auf Bild 10 dargestellten Ergebnisse muss allerdings beachtet werden, dass die Einschätzungen der Lotsen für alle Aussagen, außer bezüglich der Sicherheit, sehr heterogen waren.

Die Bilder 11 und 12 illustrieren beispielhaft die Flugspuren der An- und Abflüge bei beiden DTOP-Bedingungen (10 Heavy und 20 Heavy).

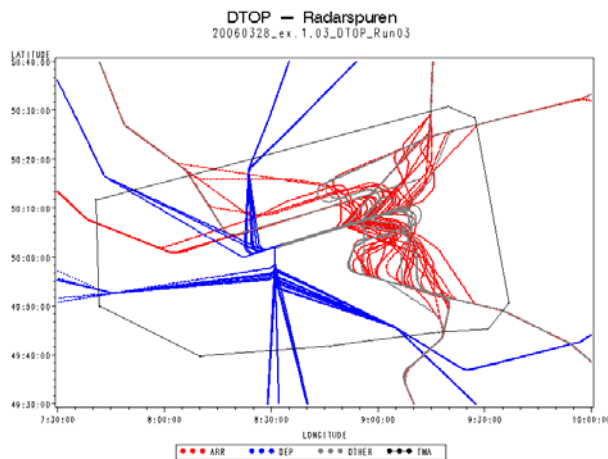


Bild 11: An- und Abflugspuren „20 Heavy“ (Beispiel)

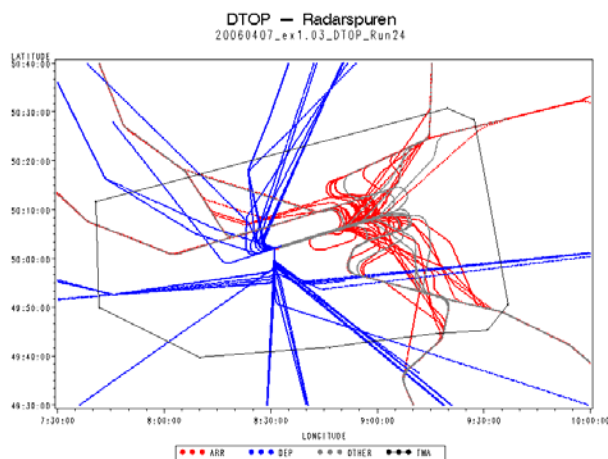


Bild 12: An- und Abflugspuren „10 Heavy“ (Beispiel)

7. Fazit

In Zusammenhang mit den Zielen der Untersuchung kann zusammengefasst werden, dass das DTOP-Verfahren unter den gegebenen Versuchsbedingungen grundsätzlich arbeitbar war. Damit kann nach der Feststellung der luftseitigen Arbeitbarkeit in den vorausgegangenen Untersuchungen [10, 12, 13] dem Verfahren auch eine bodenseitige Arbeitbarkeit attestiert werden. Weiterhin konnte eine positive Tendenz bezüglich der Anzahl der Anflüge, aber auch eine negative Auswirkung auf die Abflugkapazität, insbesondere bei einem hohen Anteil von Luftfahrzeugen der WTC Heavy, bei der Anwendung des DTOP Verfahrens beobachtet werden.

Literatur

- [1] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Betriebsanordnung CC/F-ML“ Zusammenarbeit Frankfurt APP-ACC, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2001
- [2] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Manual of Operations Air Traffic Control Services“ Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle English, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2003, BA-FVK
- [3] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Betriebsanordnung FVK 12/2004 – Probebetrieb HALS Stufe 2 mit GPM“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2004
- [4] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Controller Working Position (CWP-1) Operational Manual for P1 Air Traffic Control Automation System (ATCAS)“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2004, Release 2.1-6
- [5] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Betriebsanordnung CC/F-M FVK 61/2005 Verfahren für IFR An- und Abflüge“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2005
- [6] Deutsche Flugsicherung GmbH, DFS: „Aeronautical Information Publication, AIP Germany“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2006
- [7] Hart, S.G., Staveland, L.E.: „Development of a NASA TLX (NASA Task Load Index): Results of empirical and theoretical research“, In P.A. Hancock and N. Meshkati (Hrsg.), Human Mental Workload, Amsterdam, 1988.
- [8] Haßa, O., Haugg E.: „DTOP Realzeitsimulation - Untersuchungskonzept“ DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2005
- [9] Haßa, O.: „DTOP Realzeitsimulation – DTOP Verfahren in der Simulation“ DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany, 2006
- [10] Kolrep, H. et al.: „Zweischwellenbetrieb am Flughafen Frankfurt/M. – Simulatorstudie zur Arbeitssituation im Cockpit“, Beitrag DGLR-Symposium Nachbar Flughäfen, Bremen, 2004
- [11] „Master ATM European Validation Plan (MAEVA)- Validation Guidance Handbook (VGH)“, Version 3.0 EUROCONTROL, April 2004
- [12] Schubert, E. et al.: „Untersuchung der Fliegbarkeit sowie der Arbeitsbelastung von Piloten beim Betrieb zweier Landeswellen auf einer Piste“, Beitrag DGLR-Symposium Nachbar Flughafen, Bremen, 2004
- [13] Schubert, E. et al.: „Ergebnisse der Flugsimulatorstudie zur Untersuchung der Arbeitssituation im Cockpit beim Betrieb zweier Landeswellen auf einer Piste“, Beitrag Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2005, Friedrichshafen, 2005

Impressum:

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

TE im Fokus erscheint in der Regel halbjährlich. Dieser Bericht ist elektronisch (und in Farbe) im Internet (www.dfs.de, Bereich ATM Information, Forschung & Entwicklung) sowie über das DFS Intranet, Dokumentationsbereich im F&E Portal (<http://forschungszentrum.lgn.dfs.local>) verfügbar. 80 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

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

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

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

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

Printversion: ISSN 1861-6364

Internet-Version: ISSN 1861-6372

COPYRIGHT

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

Copyright © 2006 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.