

- Die F&E-Programme SESAR 1 und SESAR 2020 – Rückblick und Ausblick
- Enhanced STCA (Short Term Conflict Alert)
- Von der Idee zur Innovation am Beispiel Point Merge
- Prototyp einer webbasierten Radaranzeige
- Advanced Approach Light System – Ein zusätzliches visuelles Assistenzsystem bei kritischen Wetterbedingungen



Inhaltsverzeichnis

Übersicht der Artikel in diesem Heft	4
Die F&E-Programme SESAR 1 und SESAR 2020 – Rückblick und Ausblick.....	5
Gerhard Tauss	
Enhanced STCA (Short Term Conflict Alert).....	9
Yvonne Graner	
Von der Idee zur Innovation am Beispiel Point Merge	13
Oliver Haßa	
Prototyp einer webbasierten Radaranzeige	31
Jan Fiegert	
Advanced Approach Light System – Ein zusätzliches visuelles Assistenzsystem bei kritischen Wetterbedingungen	34
Dr. Ferdinand Behrend (TU Berlin)	
Impressum	35

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

Übersicht der Artikel in diesem Heft

Gerhard Tauss: Die F&E-Programme SESAR 1 und SESAR 2020 – Rückblick und Ausblick - Das erste Single European Sky ATM Research Programme endete 2016. Dieser Artikel bietet eine Retrospektive über Hintergrund, Ziele und Inhalte des Programms, sowie einen Ausblick auf die Projekte des Nachfolgeprogramms SESAR 2020 mit DFS Beteiligung.

Yvonne Graner: Enhanced STCA (Short Term Conflict Alert) - Es gibt verschiedene Sicherheitsnetze, die kritische Annäherungen in der Luft vermeiden. Hier wird ein Überblick über das STCA gegeben, dessen Funktionsweise erläutert und der aktuelle Stand der Entwicklungen vorgestellt.

Oliver Haßa: Von der Idee zur Innovation am Beispiel Point Merge – Innovation ist ein schillernder Begriff. Erst der erfolgreiche betriebliche Einsatz unterscheidet eine Innovation von der Invention (Idee). Am Beispiel der Einführung des betrieblichen Verfahrens „Point Merge“ werden die einzelnen Entwicklungsschritte auf dem Weg von der Invention zur Innovation anwendungsnah erläutert. Dabei werden auch die im Prozess eingesetzten Werkzeugen referenziert, die in einem vorhergehenden Artikel der „Innovation im Fokus“ (Ausgabe 1/16) bereits detaillierter vorgestellt wurden.

Jan Fiegert: Prototyp einer webbasierten Radaranzeige - Simulatoren sind ein unverzichtbares Werkzeug bei der Planung und Umsetzung von Infrastrukturvorhaben für den Luftverkehr und kommen bei nahezu allen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der DFS zum Einsatz. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden die Anforderungen an einen Einzelplatzsimulator analysiert, die erforderlichen Grundlagen für eine Radaranzeige mittels moderner Webtechnologien im Web-Browser erarbeitet und in einem Prototyp umgesetzt.

Dr. Ferdinand Behrend: Advanced Approach Light System – Ein zusätzliches visuelles Assistenzsystem bei kritischen Wetterbedingungen - Das hier vorgestellte *Advanced Approach Light System* soll die Cockpitbesatzung beim Anflug als zusätzliches Anzeigesystem bei kritischen Wetterbedingungen unterstützen und so zur Verbesserung des Situationsbewusstseins beitragen. Der Artikel beschreibt dessen Entwicklung und Erprobung und stellt eine Übersicht über die Ergebnisse dar.

Die F&E-Programme SESAR 1 und SESAR 2020 – Rückblick und Ausblick

Gerhard Tauss

Einleitung – Das SESAR Programm

Das **Single European Sky ATM Research Programme** – kurz: **SESAR** – wurde bereits 2004 auf Anregung einiger führender Luftfahrt-Unternehmen wie Airbus, Thales, Indra und auch der DFS von der EU-Kommission ins Leben gerufen. Als Initiative zur Modernisierung des europäischen ATM-Netzwerks wurde SESAR neben der FAB-Initiative in den vergangenen zwölf Jahren zum wesentlichen und weltweit anerkannten Treiber zur Erreichung der politischen Ziele im SES-Programm der EU:

- Verdreifachung der Kapazität,
- Erhöhung der Sicherheit um einen Faktor von 10,
- Verbesserung der Umweltverträglichkeit um 10 % pro Flug,
- Senkung der Kosten für das Flugverkehrsmanagement um 50 % pro Flug.

Auch wenn man sich aufgrund der moderaten Verkehrsentwicklung mittlerweile vom Zeitziel 2020 für die o.a. Performancewerte verabschiedet hat, besteht der Entwicklungsdruck in der Branche fort. Eine häufige Diskussion zur Balance zwischen Kostensenkung und Herstellung von Kapazität (unter Wahrung des Sicherheitsniveaus) begleitet SESAR ständig, wobei nach Jahren der Fokussierung auf Kostensenkung nun wieder die Kapazitätserhöhung langsam in den Vordergrund rückt.

Einen gut strukturierten Überblick über die Vision, Zielsetzung und Arbeiten des SESAR-Programms liefert der European ATM Master Plan. Derzeit ist die Edition 2015 in Kraft (www.atmmasterplan.eu). Der Master Plan besitzt drei Abstraktionsstufen:

Level 1 adressiert das Executive-Management der Stakeholder und beschreibt auf hoher Ebene

- die SESAR Vision,
- die Performance Sicht,
- die Operationelle Sicht,
- die Deployment Sicht,
- die Business Sicht,
- das Risikomanagement.

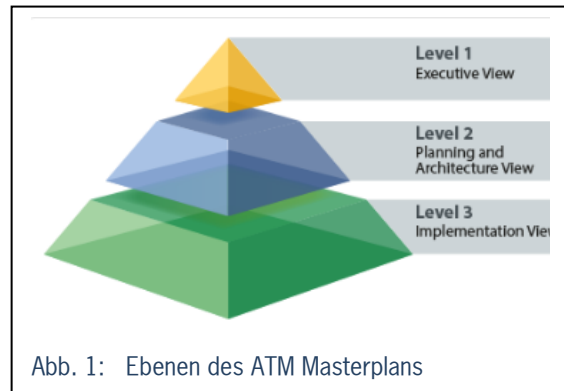


Abb. 1: Ebenen des ATM Masterplans

Level 2 adressiert die Experten der Stakeholder und liefert detaillierte Planungs- und Architekturinformationen.

Level 3 beschreibt zwischen den Stakeholdern vereinbarte SESAR-Deploymentaktivitäten und ist im von EUROCONTROL etablierten European Single Sky Implementation Plan (ESSIP) dokumentiert.

Alle drei Ebenen des Masterplans können im Internet interaktiv eingesehen werden.

Das SESAR-Programm besteht aus drei Phasen:

- der zweijährigen „SESAR Definitionsphase“, die 2008 mit dem Zielkonzept und dem ATM-Masterplan die Grundlagen legte,
- der laufenden „SESAR Forschungs- und Entwicklungsphase“, die durch das SESAR Joint Undertaking (SJU) und seine Mitglieder koordiniert und durchgeführt wird und
- seit 2014 der „SESAR Deploymentphase“.

Die SESAR Forschungs- und Entwicklungsprogramme

Zur Steuerung der SESAR Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurde 2007 durch die EU-Verordnung 219/2007 das SESAR Joint Undertaking (SJU) mit Sitz in Brüssel gegründet. Es ist eine „Public-Private Partnership“, bestehend aus den Gründungsmitgliedern EU-Kommission und EUROCONTROL sowie Flugsicherungsorganisationen (darunter die DFS), Flughafenbetreibern und Herstellern. Das erste Forschungs- und Entwicklungsprogramm des SJU wurde von 2009 bis 2016 unter dem Namen „SESAR 1“ durchgeführt.

Mit EU-Verordnung 721/2014 wurde die Laufzeit des SJU von 2016 auf 2024 verlängert und ein zweites Forschungs- und Entwicklungsprogramm im SJU im Zeitraum 2016 bis 2022 unter dem Namen „SESAR 2020“ etabliert. Der Kreis der SJU-Mitglieder wurde geringfügig angepasst und u. a. um Forschungseinrichtungen wie das Konsortium AT-One bestehend aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und seinem niederländischen Pendant NLR erweitert. Die durchgängige Planungssystematik von SESAR ist einzigartig, weltweit hochgeschätzt und in der europäischen ATM-Erneuerung nicht mehr wegzudenken.

How to eat an elephant? - SESAR 1

Die Anfänge in SESAR 1 waren schwer. Wie koordiniert man über 300 F&E-Projekte, die inhaltlich enge Bezüge und Abhängigkeiten bergen, die aus vertragsrechtlichen Gründen nicht zeitgerecht starten können und durch 16 SJU-Mitglieder und insgesamt rund 100 beteiligte Organisationen effizient und effektiv durchgeführt werden sollen? Die Antworten darauf mussten Schritt für Schritt entwickelt werden. Entsprechend der Komplexität dieser Aufgabe war die Lernkurve lang. Organisationsstrukturen und Arbeitsprozesse wurden etabliert und wieder revidiert. Nach etwa der halben Laufzeit war ein stabiler Entwicklungsprozess gefunden, der sowohl die strategische Top-down- als auch die innovative Bottom-up-Steuerung zulässt. Seither werden die Elemente des SESAR-Zielkonzepts nach den „Business Needs“ der operationellen Stakeholder priorisiert, in der SESAR „Integrated Roadmap“ zeitlich sequenziert und die Entwicklungsergebnisse jährlichen SESAR Releases zugeordnet. Die inhaltliche Koordination von miteinander verknüpften Operational Improvement Steps und Enablern erfolgt in Clustern, zunächst den Operational Focus Areas (OFAs), die sich mittlerweile zu den am Deployment orientierten SESAR Solutions konsolidiert haben. 63 SESAR Solutions sind heute im SESAR Solutions Catalogue (unter www.sesarju.eu) mit ihren Entwicklungsergebnissen zu finden und werden bis zum Jahresende 2016 um voraussichtlich weitere 35 ergänzt. Data Packs stellen zu jeder Solution die detaillierten Validierungsergebnisse, Spezifikationen, Prototypen und Cases für Safety, Business und Environment zusammen – eine belastbare Grundlage für nachgelagerte Deployment-Entscheidungen.

Wozu der Aufwand? - Deployment

Forschung und Entwicklung im industriellen Bereich ist kein Selbstzweck. Die Hauptaufgabe des SESAR Forschungs- und Entwicklungsprogramms liegt darin, frühzeitig diejenigen Entwicklungsschritte zu

identifizieren, für die sich ein Deployment „lohnt“. D. h. diese müssen funktionieren, sicher sein, Kapazität / Produktivität liefern, Umwelteinflüsse reduzieren und möglichst wenig kosten. Ohne gesicherte Erkenntnisse über die Auswirkungen von SESAR Solutions ist ein Deployment, dessen Kosten die F&E-Aufwände um einen Faktor 10 übersteigt, nicht sinnvoll und in vielen Fällen gar nicht möglich. Belastbare F&E-Ergebnisse sind daher genauso wichtig wie die nachgelagerte systematische Umsetzung im Rahmen des Deployments, insbesondere, wenn zur Einführung verschiedene Akteure synchronisiert agieren müssen.

Zur europaweiten Koordination des SESAR Deployments hat die EU 2014 durch die Verordnung 409/2013 eine eigene Governance-Struktur etabliert. Diese besteht aus einer politischen Ebene, geführt durch die EU-Kommission, einer Management-Ebene, wahrgenommen durch den SESAR Deployment Manager (SDM) und einer Implementierungsebene, in der Deployment-Projekte der Stakeholder umgesetzt werden.

Das SESAR Deployment basiert auf dem European ATM Master Plan (insbesondere dessen Level 3). Wesentliche Steuerungsinstrumente im Deployment Management sind die sogenannten „Common Projects“ (das sind EU-Verordnungen, in denen die EU-Kommission das Deployment von konkreten ATM-Funktionalitäten bzw. SESAR Solutions verbindlich vorschreibt) sowie das vom Deployment Manager auf dieser Grundlage entwickelte SESAR Deployment Programme zur Steuerung in der Umsetzung. Das Deployment im Rahmen von Common Projects wird von der EU-Kommission derzeit mit rund 3 Mrd. Euro unterstützt. Das erste Common Project, das sogenannte „Pilot Common Project (PCP)“ trat mit EU-Verordnung 716/2014 in Kraft, seine Umsetzung ist in vollem Gange.

Mit der Aufgabe des SESAR Deployment Managers hat die EU-Kommission Ende 2014 die SESAR Deployment Alliance beauftragt, ein Konsortium aus ANSPs (A6-Gruppe inklusive DFS), Airlines (A4-Gruppe) und Flughäfen (SDAG). Ziel der Koordination durch den Deployment Manager ist eine abgestimmte Einführung, die den Nutzen durch die neuen ATM-Funktionalitäten maximiert. Das Deployment Programme ist in seiner aktuellen Fassung unter www.sesardeploymentmanager.eu/publications/ zu finden.

Fortsetzung folgt - SESAR 2020

Während erste SESAR Solutions in Betrieb gingen und das Deployment Management aus der Taufe gehoben wurde, hat die EU-Kommission 2014 die Fortsetzung des F&E-Programmes beschlossen, „SESAR 2020“. Es

setzt auf den Ergebnissen des von SESAR 1 (siehe [1-19]) auf. Die Entwicklungsaktivitäten (jetzt „Industrial Research“ genannt) wurden um den Bereich „Exploratory Research“ und „Very Large Scale Demonstrations“ (VLDs) ergänzt. Die Industrial Research Aktivitäten und VLDs werden in zwei Wellen durchgeführt (Wave 1 von 2016 bis 2019 und Wave 2 von 2019 bis 2021). Die Vergabe zur Wave 1 wurde 2016 abgeschlossen. Die DFS wird sich hier in 17 Projekten beteiligen:

- Enhanced Arrivals and Departures (PJ01)
- Integrated Surface Management (PJ03a)
- Airport Safety Nets (PJ03b)
- Remote Tower for Multiple Airports (PJ05)
- Advanced Airspace Management (PJ08)
- Separation Management in en-route and TMA (PJ10), -Projektleitung DFS
- CNS (PJ14)
- Common Services (PJ15)
- CWP-HMI (PJ16)
- SWIM Infrastructures (PJ17)
- 4D Trajectory Management (PJ18)
- Content Integration (PJ19)
- Master plan maintenance (PJ20)
- VLD Network Collaborative Management (PJ24)
- VLD Arrival Management extended to en-route Airspace (PJ25)
- VLD Flight Information Exchange (PJ27), Projektleitung DFS
- VLD Initial Trajectory Information Sharing (PJ31).

Da die Fördermittel für SESAR 2020 (580 Mio. Euro) aus dem europäischen Forschungsprogramm HORIZON 2020 kommen, mussten die vertraglichen Rahmenbedingungen des SJU leider komplett erneuert werden. Die sehr strikten Regeln von HORIZON 2020 schränken zudem die Flexibilität des SESAR 2020 Programms erheblich ein. Die Vorteile von Joint Undertakings werden durch sie wenig genutzt und unterstützt. Dennoch bleibt die in SESAR 1 entwickelte Methodik und Systematik erhalten. Die bisherigen Cluster wurden in Projekte überführt und deren Anzahl damit deutlich auf 28 reduziert. In weiteren Release-Veröffentlichungen werden in ihnen bis Ende 2021 rund 85 neue SESAR Solutions entstehen, von denen einige auch echte Paradigmenwechsel bringen könnten, allen voran das „Flight Centric ATM“ oder „sektorloses Fliegen“, wo die DFS als Technologieführer die Arbeiten leitet.

Die ausgereiften Solutions werden im Master Plan und in weiteren Common Projects münden. Das zweite Common Project (CP 2) wird bereits 2017/2018 erwartet.

Referenzen:

- [1] Reinhardt, V. & Akin, I. (2016). Aircraft profile study for optimised descent procedures and recommendations to today's ATC procedures. DFS: Innovation im Fokus 1/16, S. 42-46, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [2] Poppe, M., Herr, S., Reinhardt, K. & Achatz, G. (2015). Erste Validierungsergebnisse der Controller Assistance Tools an der iCAS-SESAR-Plattform. DFS: Innovation im Fokus 2/15, S. 11-19, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [3] Haugg, E. & Bergner, J. (2015). Results of the SESAR Step 1 V3 Center-Manager Validation. DFS: Innovation im Fokus 2/15, S. 20-29, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [4] Weiß, B., Glaab, H., Schmitt, F., Straub, S. & Heidger, R. (2015). Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX. DFS: Innovation im Fokus 1/15, S. 5-12, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [5] Seidel, D., Bergner, J. & Rüggeberg, T. (2014). Center-Manager - Ein neuer Ansatz zur kombinierten Planung von An- und Abflügen auf mehreren Flughäfen. DFS: Innovation im Fokus 2/14, S. 5-16, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [6] Herber, A., Udovic, A. & Graner, Y. (2014). V2-Validierung einer „RA Downlink“-Anzeige am Lotsenarbeitsplatz. Innovation im Fokus 2/14, S. 37-42, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [7] Grandt, M., Regner, J. & Winker, R. (2014). Free Route Airspace Maastricht and Karlsruhe – DFS Karlsruhe UAC, EUROCONTROL Maastricht UAC und Lufthansa gemeinsam auf dem Weg in Richtung Free Route Airspace. Innovation im Fokus 2/14, S. 25-30, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [8] Tenoort, S. (2014). Entwicklung eines Onlinearchivs für Human Performance – Methoden im Rahmen von SESAR. Innovation im Fokus 2/14, S. 17-24, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [9] Seidel, D., Bergner, J. & Rüggeberg, T. (2014). Center-Manager - Ein neuer Ansatz zur kombinierten Planung von An- und Abflügen auf mehreren Flughäfen. Innovation im Fokus 2/14, S. 17-24, Langen: Deutsche Flugsicherung.

- [10] Hagemann, K. & Udovic, A. (2014). Bewertung von Multi-Touch Gesteneingaben am Lotsenarbeitsplatz. Innovation im Fokus 1/14, S. 20-27, Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [11] Herber, A. & Udovic, A. (2013). Ein Mockup für die Anzeige von ACAS-Ausweichenweisungen am Lotsenarbeitsplatz. TE im Fokus 2/13, S. 29-31. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [12] Tenoort, S. (2013). Automation im Kontext von SESAR - die Entwicklung von Guidelines im Projekt 16.05.01. TE im Fokus 1/13, S. 3-11. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [13] Poppe, M., Herr, S. & Herber, A. (2013). SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und -lösung für Radar- und Planungslotsen. TE im Fokus 1/13, S. 25-31. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [14] Straub, S. & Rühl, O. (2012). SESAR-Validierung der DFS-Tower-iCWP im TOSIM. TE im Fokus 2/12, S. 3-6. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [15] Hagemann, K., Uebbing-Rumke, M., Gürlük, H. & Lambrecht, J. (2011). Ergonomische Bewertung eines Quad HD Monitors für den TMA/ACC Lotsenarbeitsplatz. TE im Fokus 1/11, S. 9-14. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [16] Fischer, H., Herber, A. & Graner, Y. (2010). Analyse von ACAS-Ausweichenweisungen am Boden. TE im Fokus 1/10, S. 16-25. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [17] Poppe, M., Hagemann, K., Haßa, O. & Leschner, S. (2009). Der TE-Beitrag zum SESAR Joint Undertaking. TE im Fokus 2/09, S. 2-11. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [18] Poppe, M. & Hellbach, T. (2008). Towards SESAR Performance Targets - The Super-Highway Approach. TE im Fokus 2/09, S. 2-10. Langen: Deutsche Flugsicherung.
- [19] Poppe, M. (2007). TE-Unterstützung für SESAR. TE im Fokus 1/07, S. 9-12. Langen: Deutsche Flugsicherung.

Enhanced STCA (Short Term Conflict Alert)

Yvonne Graner

Die Anfänge

1976 implementierte die FAA (Federal Aviation Authority) ein „Conflict Alert System“ mit der Funktionalität, den Fluglotsen zu warnen, sollten sich Luftfahrzeuge im En-Route-Bereich nähern, als es die Standardseparierung vorsieht. Zu Beginn stand diese Funktionalität in einer Flughöhe ab 18000 ft zur Verfügung. Erste ähnliche Entwicklungen fanden in diesem Zeitraum auch in Europa statt, allerdings dauerte es bis in die Mitte der 90er Jahre, bis erste Leitlinien erarbeitet wurden. Im Nachgang zu den beiden Flugunfällen in Linate [1] und Überlingen [2] wurde die Harmonisierung und eine europaweite Implementierung von Ground-based Safety Nets über den ECIP (European Convergence and Implementation Plan [3]) empfohlen. Dies war die Geburtsstunde der SPIN (Safety nets: Planning Implementation and Enhancements) Taskforce [4], mit dem Auftrag, Standards zu definieren und unterstützendes Material und Leitlinien für Europa zu entwickeln. Die DFS ist von Beginn an stetes Mitglied und seit drei Jahren auch im Vorstand vertreten und hat hierüber die Entwicklung und operationale Inbetriebnahme des Enhanced STCA in der DFS maßgeblich vorangetrieben.

Welche Safety Nets gibt es?

Grundsätzlich wird zwischen bodenseitigen (ground-based) und luftfahrzeugseitigen (airborne) Sicherheitsnetzen (Safety Nets) unterschieden. Diese können weiter je nach Einsatzspektrum unterteilt werden wie aus Tabelle 1 hervorgeht.

Tabelle 1: Ground-based und Airborne Safety Nets [9]

	Ground-based Safety Nets	Airborne Safety Nets
Contributing to prevention of (near) midair collisions	Short Term Conflict Alert (STCA)	Airborne Collision Avoidance System (ACAS)
	Area Proximity Warning (APW)	
Contributing to prevention of controlled flight into terrain	Minimum Safe Altitude Warning (MSAW)	Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS)
	Approach Path Monitor (APM)	

Die folgenden Kapitel werden sich nun vorwiegend mit dem Short Term Conflict Alert (STCA) nebst einiger erläuternden Exkursionen und seiner Entwicklung in der DFS befassen.

Was ist die Zielsetzung von STCA?

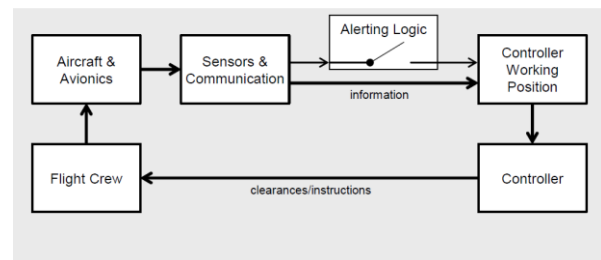


Abbildung 1: Vereinfachter Zyklus der Flugverkehrskontrolle [6]

Wie Abbildung 1 vereinfacht darstellt, ist der Mensch integraler Teil der heutigen ATC-Systeme. Basierend auf einem kontinuierlichen Daten- und Informationsfluss erteilt der Lotse Freigaben und Instruktionen, um eine sichere, geordnete und flüssige Abwicklung des Flugverkehrs zu gewährleisten und dabei möglichen Konflikten vorzubeugen oder bereits bestehende zu lösen.

Aufgrund begrenzter kognitiver Ressourcen des menschlichen Operators können unter hohem Verkehrsaufkommen oder bei komplexen Verkehrssituationen wichtige Informationen übersehen werden. Daher kann es passieren, dass Abweichungen von Freigaben oder auch Konflikte erst einmal unbemerkt bleiben.

STCA stellt hier als Ground-based Safety Net eine zusätzliche, unabhängige Alarmierungslogik als Hilfestellung zur Verfügung. Abhängig von der Umgebung, Position und Geschwindigkeit der Luftfahrzeuge wird ein entsprechender Alarm ausgegeben. Dieser ist in der DFS zweistufig und mit einer „Vorausschauzeit“ von weniger als 2 Minuten (somit „short term“) adaptiert.

2-stufige Alarmierung:

Predicted alert: Dieser Alarm erfolgt bei einer möglichen, künftigen Unterschreitung der Alarmschwelle.

Current alert: Dieser erfolgt bei einer aktuellen Unterschreitung der Alarmschwelle.

Unterschied zwischen Safety Nets und Controller Tools

Im Folgenden findet sich eine Erläuterung zur grundsätzlichen Unterscheidung zwischen Safety Nets und Controller Tools. Tabelle 2 stammt aus einem Entwurf der GBSN SG (Ground Based Safety Net Sub-Group) der ICAO [5], einer Arbeitsgruppe, die auf Empfehlung der ANC (Air Navigation Commission) [8] gegründet wurde. Eine offizielle Veröffentlichung ist für Mitte 2017 in Form eines Manuals geplant.

Tabelle 2: Unterschiede zwischen Ground Based Safety Nets & Controller Tools [5]

GBSNs	Controller Tools
Used to increase safety by adding system safety defences.	Used to increase the overall performance of ATC by providing a combination of capacity, efficiency and safety benefits.
Designed not to alter the way that ATCOs conduct normal operations.	Designed to alter the way that ATCOs conduct normal operations by providing information that assist in the planning and execution of their duties.
Identify a safety concern .	Identify when performance improvements are visible.
Not used in the determination of sector capacity.	Used in the determination of sector capacity.
Short warning times (typically less than 2 minutes) that draw attention to conditions requiring immediate action.	Longer advisory times allowing to implement performance improvements.
Are operated independently from the other functions of the ATM system, although they may use common data sources.	Are an integral part of the ATM system. A failure or unavailability has direct influence on the ability and the capability of the ATM system.

Ground-based Safety Nets sind optimalerweise „unsichtbar“ und agieren stetig im Hintergrund. Erst wenn für den Vorhersagezeitraum eine kritische Annäherung vorausberechnet wird, wird es als Anzeige auf dem Radarbildschirm „sichtbar“.

Alarmer und HMI

Falsche und unerwünschte Alarmer sind ein großes Problem für eine effektive Nutzung von Safety Nets und erfordern daher eine fortlaufende Optimierung.

Die meisten, wenn auch nicht alle falschen Alarmer (zum Beispiel solche, die durch Radarreflektionen erzeugt werden) können unterdrückt werden.

Allerdings gibt es auch viele Alarmer, die zwar korrekt generiert und angezeigt, vom Nutzer allerdings als störend oder unnötig empfunden werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Alarm zu früh zur Anzeige kommt und der Nutzer bereits eine Strategie zur Vermeidung des systemseitig angezeigten Konfliktes verfolgt.

Das Ziel ist daher, einen optimalen Ausgleich zwischen unerwünschten Alarmen und einer angemessenen Vorwarnzeit zu erreichen.

In diesem Zusammenhang hat man sich auch Gedanken gemacht, inwieweit die Nutzung von Lotseneingaben (wie z. B. des Cleared Flight Levels) oder auch die Verwendung sogenannter DAPs (Downlinked Aircraft Parameters) einen Beitrag zu Verbesserungen leisten könnten.

Nutzung von CFL (Cleared Flight Level) im STCA

2013 kam es zur Einführung eines sog. Enhanced STCA, das CFL-Eingaben bei der Berechnung eines STCA berücksichtigte, was eine bedeutende Verbesserung mit sich brachte.

In der ersten Stufe kann diese Neuerung bisher allerdings nur von Kolleginnen und Kollegen der Niederlassung Karlsruhe genutzt werden, da nur in dem von Ihnen genutzten VAFORIT-System alle Freigaben vom Lotsen in das System eingegeben werden. Somit stehen nur dort für das STCA ausreichend Eingabedaten zur Verfügung.

Vor der Einführung des Enhanced STCA kam es zu einer frühen Ausgabe des predicted alerts, wenn sich Luftfahrzeuge mit relativ hohen Steig- und/oder Sinkraten einander annäherten. Wie bereits beschrieben, wurde dies vom Nutzer als sehr störend empfunden, da die freigegebenen Flughöhen erfahrungsgemäß meist ohne zu überschießen erreicht wurden, d. h. es handelte sich dabei um Fehlalarme.

Aufgrund der Berücksichtigung des CFL im STCA und der Einhaltung von definierten Rahmenbedingungen bezüglich der freigegebenen Flugfläche kam es von nun an zu weniger predicted alerts.

Die Abbildung 2 erläutert das Konzept, welches für CFL und SFL (Selected Flight Level) in gleicher Weise definiert wurde, anhand von CFL-Beispieldaten. Sie zeigt ein Luftfahrzeug im Sinkflug auf FL270 (orangefarbene Linie) und ein zweites Luftfahrzeug konstant in FL260 (blaue Linie). Durch die Eingabe des

CFL nimmt das STCA diesen Wert mit in seine Berechnung auf. Zwischen FL280 und FL275 muss nun das Luftfahrzeug eine Sinkrate kleiner als 1700 ft/min (CFLCHG2) und zwischen FL275 und FL270 kleiner als 1200 ft/min (CFLCHG1) einhalten, um keinen Alarm auszulösen.

Zusätzlich wurde noch ein Bereich jeweils 225 ft oberhalb und unterhalb der freigegebenen Flugfläche definiert (CFLINH), um auch die Fälle berücksichtigen zu können, in denen ein kleines Überschießen bzw. Einschwingen auf den CFL stattfindet. Dieser Bereich verhindert bei kurzem Durchfliegen (innerhalb dieser definierten 225 ft) des CFL die Ausgabe eines Alarms.

Sollten die Werte nicht eingehalten werden, kommt es zur Alarmausgabe, da das STCA davon ausgeht, dass für das Erreichen der freigegebenen Flugfläche die Annäherungsgeschwindigkeit zu hoch ist, sodass diese unmöglich eingehalten werden kann.

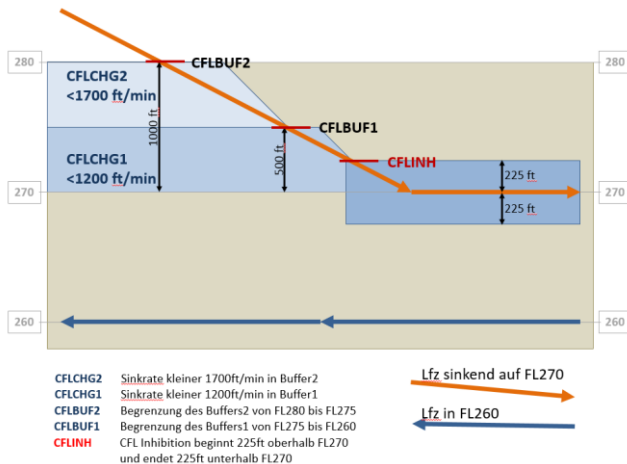


Abbildung 2: CFL Funktionalität im STCA

In Validierungen der Kollegen der Niederlassung Karlsruhe konnte eine Reduktion von unerwünschten Alarmen in Höhe um ca. 65 % nachgewiesen werden.

2013 war die Einrüstung von PSS in den Kontrollzentralen des unteren Luftraumes noch nicht abgeschlossen, was bedeutete, dass keine ausreichenden CFL-Systemeingaben an den Arbeitsplätzen zur Verfügung standen. Zudem war unklar, wie sich die CFL-Funktionalität im STCA in Übergabefällen (PSS zu non-PSS ausgerüsteten Arbeitsplätzen) verhalten würde. Aus diesem Grund griff man die Idee auf, den SFL (Selected Flight Level) für die Berechnung (analog zum CFL) heranzuziehen.

Beim Selected Level handelt es sich um die vom Piloten im FMS (Flight Management System) eingegebene Soll-Flughöhe. Über Enhanced Mode S werden diese Daten vom Luftfahrzeug an die Bodensysteme übertragen.

Die Nutzung von CFL/SFL im STCA ist optional (per Adaption in der jeweiligen Niederlassung) auswählbar, wobei man sich darauf geeinigt hat, dass der SFL die oberste Priorität hat. Sollte dieser nicht verfügbar sein, wird der CFL zur Berechnung herangezogen. Liegen beide Werte nicht vor, wird der STCA konventionell berechnet.

Ausblick

In den kommenden Monaten wird der STCA Release 13.0 sukzessive in den Niederlassungen eingeführt werden. Dieser soll (je nach Verarbeitungsmöglichkeit der verschiedenen ATM-Systeme) ein DAP (Downlinked Aircraft Parameter) im STCA berücksichtigen.

Referenzen:

- [1] ANSV (2004). Final Report. Accident involved Aircraft Boeing MD-87, registration SE-DMA and Cessna 525-A, registration D-IEVX Milano Linate Airport October 8, 2001. ANSV: Rome.
- [2] Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (2004). Untersuchungsbericht der BFU AX001-1-2/02. Braunschweig: BFU.
- [3] Wikipedia (2016). Europäischer Konvergenz- und Durchführungsplan. *De.wikipedia.org*. Abgerufen am 06.12.2016 von https://de.wikipedia.org/wiki/Europäischer_Konvergenz-_und_Durchführungsplan.
- [4] Eurocontrol (2016). Safety Nets - Eurocontrol. Eurocontrol.int. Abgerufen am 05.12.2016 von <https://www.eurocontrol.int/safety-nets>.
- [5] ICAO (in Vorbereitung). Ground-Based Safety Nets Manual. Abgerufen am 07.12.2016 von http://www.icao.int/airnavigation/Lists/T_Documents/DispForm.aspx?ID=26
- [6] EUROCONTROL (2007) Specification for Short Term Conflict Alert, version 1.0.
- [7] EUROCONTROL (2009) Guidance Material for Short Term Conflict Alert, version 2.0.
- [8] ICAO (2014). Agenda Item 6: Future direction. Working Paper. APIRG/EO-IP/06, Appendix B, AN-Conf/12-WP/24. Twelfth Air Navigation Conference.
- [9] Drozdowski, S. & Bakker, B. (2009) Safety Nets: Another pair of eyes. FSF, IFA and IATA 62nd annual International Air Safety Seminar, Beijing.

Abkürzungen

ANC	Air Navigation Commission
ANSV	Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (Nationale Agentur für Flugsicherheit – Italien)
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
CFL	Cleared Flight Level
DAP	Downlinked Aircraft Parameter
FAA	Federal Aviation Authority
FMS	Flight Management System
GBSN	Ground Based Safety Net
GBSN SG	Ground-Based Safety Net Sub Group (ICAO) (launched out of the Surveillance Panel)
PSS	Paperless Strip System
SFL	Selected Flight Level
SPIN	Safety Nets: Planning Implementation eNhancement

Von der Idee zur Innovation am Beispiel Point Merge

Oliver Haßa

Einleitung

Der Luftverkehr bildet heute einen wichtigen Teil der modernen Verkehrsinfrastruktur. Dabei ist Deutschland mit seiner zentralen Lage in Mitteleuropa ein wichtiger Knotenpunkt des internationalen Luftverkehrs. Die Verkehrsdichte und -komplexität im deutschen Luftraum zählt bereits heute zu den höchsten weltweit. Darüber hinaus liegen in Deutschland auf einem relativ kleinen geografischen Gebiet sehr viele Flugplätze und zudem Beschränkungs- und Gefahrengebiete nahe beieinander. Daher ist die Luftraumstruktur in Deutschland hochkomplex. Jede Innovation in diesem Bereich muss sorgfältig geplant und getestet werden.

Im aktuellen allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff „Innovation“¹ in der Regel unspezifisch im Sinne von neuen Ideen und Erfindungen verwendet. Eine Idee oder Invention² für sich alleine betrachtet ist im engeren Sinne jedoch noch keine Innovation. Das reine Hervorbringen einer Idee genügt für eine Innovation nicht – erst der erfolgreiche betriebliche Einsatz unterscheidet eine Innovation von der Invention. Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise dient dazu, den Weg von Ideen hin zur Innovation zu fördern und zu strukturieren.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, das Zusammenspiel zwischen dem Vorgehensmodell, den einzelnen Entwicklungsschritten und die dabei genutzten Werkzeuge an einem konkreten Beispiel zu zeigen. Diese Werkzeuge wurden in einem vorhergehenden Artikel in „Innovation im Fokus“ bereits vorgestellt [9]. Der vorliegende Beitrag ergänzt und erweitert diese anwendungsorientierte Einführung in die Simulationen des Flugverkehrsmanagements im vorherigen Heft. Der Schwerpunkt des vorliegenden Artikels liegt auf den einzelnen Entwicklungsschritten und damit dem Weg von der Invention zur Innovation und nicht auf den im Beispiel betrachteten Verfahren

und ihren Vor- und Nachteilen oder den Eigenschaften der genutzten Werkzeuge. In den folgenden Kapiteln wird daher zunächst das Vorgehensmodell der Luftraum- und Verfahrensentwicklung und anschließend das als Beispiel genutzte Anflugverfahren vorgestellt. Auf dieser Basis werden dann die einzelnen Entwicklungsschritte von der ersten Idee bis hin zur Implementierung und dem Probetrieb am Flughafen Leipzig/Halle vorgestellt.

Das Vorgehensmodell der Luftraum- und Verfahrensentwicklung

In Europa und den Vereinigten Staaten von Amerika läuft die Entwicklung „von der Idee zur Innovation“ im Bereich des Flugverkehrsmanagements nach einem einheitlichen Sechs-Phasen-Modell ab (Europa siehe [1], USA siehe [2]). Die drei ersten Phasen beziehen sich auf die Forschung und Entwicklung, die drei anschließenden Phasen betreffen die Verfahrensplanung bzw. die Implementierung und schließlich die Inbetriebnahme (siehe Abbildung 1). Zusätzlich werden häufig eine optionale Phase V0 zur Erhebung von Basisanforderungen und eine Phase V7 zur Außerbetriebnahme ergänzt.

Grundsätzlich wird dieses Vorgehensmodell im Flugverkehrsmanagement für alle Entwicklungsarbeiten genutzt, einschließlich der Entwicklung und Validierung von Konzepten sowie technischer Systeme. Die Phasen folgen den Schritten der E-OCVM [1], wie sie auch bei der Systementwicklung und Konzeptvalidierung im internationalen Rahmen (z. B. bei SESAR³ [4] und FABEC [5]) Anwendung finden. Allerdings unterliegen die Phasen V4 bis V5 in diesen Fällen anderen Zuständigkeiten und haben teilweise andere Inhalte. Die im Folgenden beschriebene Nutzung des Vorgehensmodells zur Luftraum- und Verfahrensentwicklung ist damit prinzipiell auch auf andere Entwicklungstätigkeiten übertragbar

¹ abgeleitet vom lateinischen Verb *innovare* = erneuern

² von lateinisch *invenire* = entdecken, erfinden bzw. *inventio* = Einfall

³ Im Zusammenhang mit den Bedingungen des Förderprogramms Horizon 2020 wurde für SESAR 2020 die

Klassifizierung nach E-OCVM auf die in der Raumfahrt etablierten Technology Readiness Level (TRL) umgestellt. Dies führte jedoch nur zu einer etwas anderen Darstellung und Abgrenzung der Phasen, nicht zu einer prinzipiellen Veränderung.

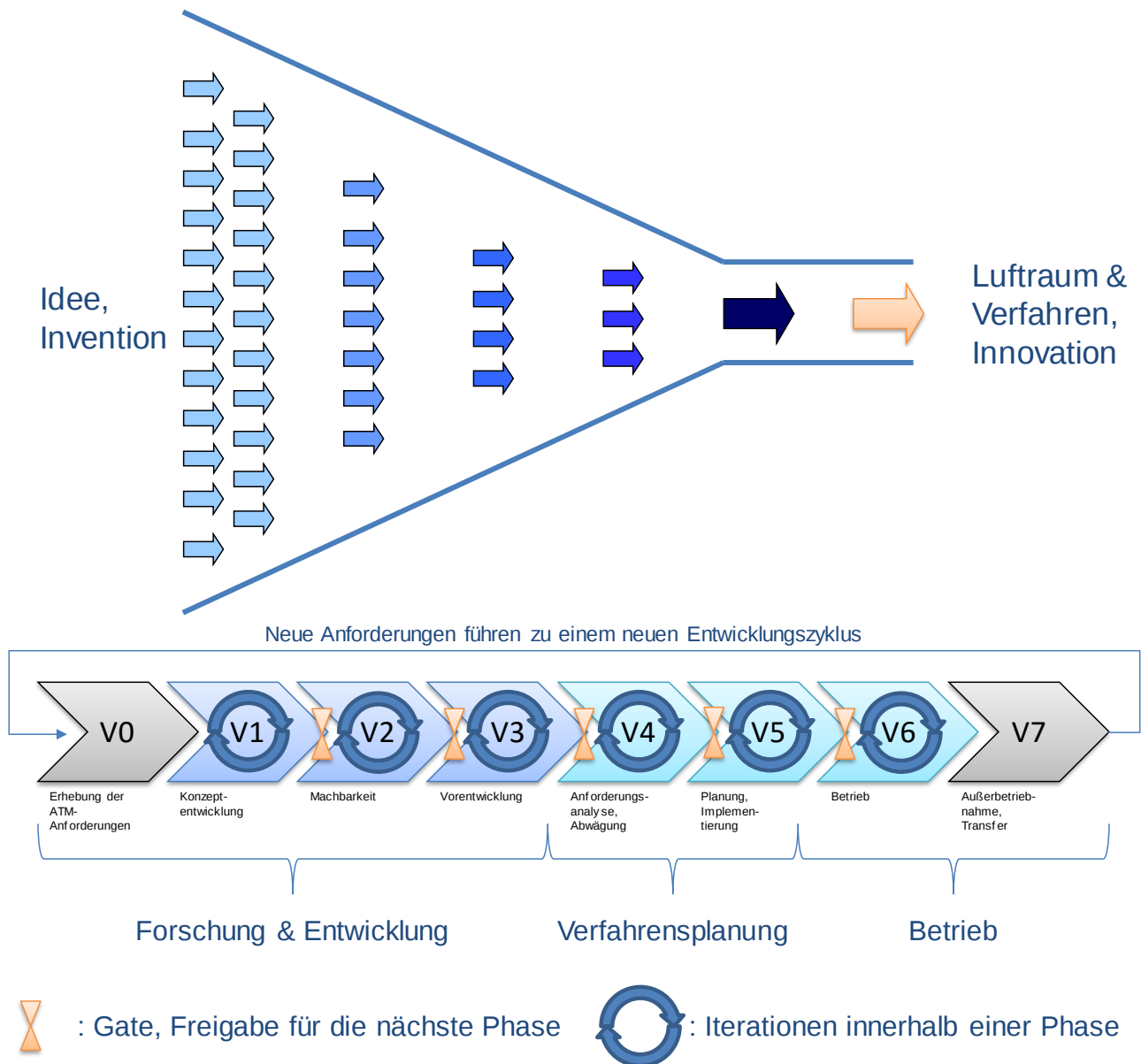


Abbildung 1: Übersicht über das Vorgehensmodell der Luftraum- und Verfahrensentwicklung und den Innovationstrichter

Im Grunde genommen, handelt es sich bei diesem Entwicklungsprozess um einen sogenannten Innovationstrichter (siehe auch [3]). Der Innovationstrichter ist eine weitverbreitete Metapher des Innovationsprozesses, in den eine Vielzahl von Ideen hineingeht, aus denen ein kleiner Teil ausgewählt wird, noch weniger in konkrete Entwicklungen umgesetzt und schließlich nur eine in Form eines neuen Produktes auf den Markt gebracht wird.

Auch die Luftraum- und Verfahrensentwicklung innerhalb des in Abbildung 1 gezeigten Vorgehensmodells erfolgt in einem solchen Innovationstrichter. In diesem werden zunächst Ideen gesammelt und darauf aufbauend Luftraumalternativen entwickelt. Diese werden in aufeinanderfolgenden Phasen hinsichtlich ihrer Eignung systematisch bewertet und

gefiltert. Schließlich wird die beste Luftraumalternative ausgewählt, validiert und implementiert.

Am Ende einer Entwicklungsphase erfolgt die Bewertung der Lösungsalternativen in der Regel mit der Unterstützung von Simulationen. Die Evaluierungen durch Simulationen haben damit den Charakter eines Tores oder „Gates“. Dadurch ähnelt die genutzte Entwicklungsstrategie dem Stage-Gate-Prozess nach Cooper [6]. Die dafür genutzten Simulatoren und die für die Unterstützung des Entwicklungsprozesses entwickelte Werkzeugkette wurden im vorhergehenden Artikel bereits vorgestellt [9].

In der ersten Hälfte der Entwicklung (Phasen V1 bis V3) spielen Konzeptentwicklung, Machbarkeitsstudien sowie die dafür erforderlichen Schnell- und Echtzeitsimulationen (siehe [9]) die entscheidende Rolle, die

Federführung liegt in der Regel bei Forschung und Entwicklung. Insbesondere in den Phasen V1 bis V3 können Iterationen erfolgen. In diesen werden z. B. Teillösungen zu neuen Luftraumalternativen kombiniert und diese erneut evaluiert. Der Forschungsanteil wird am Ende der Phase V3 durch eine Validierung abgeschlossen. Bei der Nutzung bereits etablierter Verfahren (z. B. „Transition to Final“, siehe [7]) als Basis neuer Implementierungen entfällt in der Regel der Forschungs- und Entwicklungsanteil. Dieser ist nur für komplette Neuentwicklungen auf Basis neuartiger Konzepte oder Verfahren erforderlich.

Nach erfolgreicher Validierung übernimmt der Bereich der Verfahrensentwicklung die Federführung der weiteren Prozessschritte. Bei der Verfahrensplanung kommt es auf die Erhebung von Detailanforderungen und die Abwägungen der Luftraumalternativen⁴ an, gefolgt von der Planung, der Implementierung und der betrieblichen Nutzung (siehe Abbildung 1). Ganz fertig ist eine Entwicklung aber auch nach der Inbetriebnahme nicht. Alle Verfahren werden laufend angepasst und verfeinert. Früher oder später entstehen gänzlich neue Anforderungen und damit ein großer Änderungsbedarf. So entsteht wieder ein neuer Entwicklungszyklus.

Bei der Nutzung etablierter konventioneller Konzepte (z. B. „Transition to Final“) werden in der Regel nur die Phasen V4 bis V6 durchlaufen. Ein vorhergehender Forschungsanteil entfällt. Bei der Konstruktion und Auslegung von An- und Abflugverfahren sind zahlreiche Vorgaben und Vorschriften zu berücksichtigen. Das Planungshandbuch Point Merge [8] bietet auch einen Überblick über die dabei erforderlichen Vorgabedokumente.

Insbesondere die Luftraum- und Verfahrensentwicklung nutzt im Rahmen des beschriebenen Vorgehensmodells in der Regel aufeinanderfolgende Simulationen. Die einzelnen Phasen der Entwicklung verwenden dabei unterschiedliche Werkzeuge und Simulatoren. Diese reichen von Planungen und

Workshops auf Papierbasis („Paper and Pencil“) über Schnellzeitsimulationen bis hin zu Echtzeitsimulationen. Dabei wird ein zunehmender Realitätsgrad der genutzten Simulatoren benötigt (siehe Abbildung 2).

Um diesen Prozess zu unterstützen, wurde in der DFS eine ineinandergreifende Kette von Simulatoren aufgebaut (siehe [9]). In dieser Werkzeugkette (siehe [10]) können die Arbeiten einer vorhergehenden Phase direkt in die nächste übernommen werden. So ist es zum Beispiel möglich, bestimmte Daten aus der Schnellzeitsimulation in eine nachfolgende Echtzeitsimulation zu übernehmen. Da sowohl für die Entwicklungssimulationen als auch für die nachfolgenden Tests und Schulungen mit den operationellen Systemen derselbe Echtzeitsimulatorkern genutzt wird, können auch zwischen diesen Phasen die Daten nahtlos übernommen werden.

Das vorgestellte Vorgehensmodell bietet eine formalisierte Art der Strukturierung des Weges von der Invention zur Innovation durch eine Reihe von Phasen und Toren bzw. Gates. Bevor eine Lösungsvariante in die nächste Phase fortschreiten kann, muss sie ein Tor - einen formalisierten Entscheidungspunkt bzw. in diesem Fall eine Simulation - passieren. Diese hier zu treffenden Entscheidungen basieren auf einer Reihe von Kriterien und Indikatoren, die entworfen wurden, damit ein Verfahren erfolgreich betrieblich genutzt werden kann. Der Realitätsgrad und der Aufwand der an jedem Tor genutzten Simulation wird im Laufe des Prozesses immer höher, während die Anzahl der betrachteten Luftraumvarianten sinkt (siehe Abbildung 2). Die Nutzung des Vorgehensmodells und der damit verbundenen Werkzeugkette [10] ermöglicht es, geeignete Konzepte und Verfahren frühzeitig zu identifizieren, um die betriebliche Einführung zu beschleunigen. Die Einführung schlecht nutzbarer Lufträume und Verfahren wird durch ein frühzeitiges Ausfiltern von weniger aussichtsreichen Varianten erfolgreich reduziert bzw. vollständig vermieden.

⁴ Eine Abwägung von Luftraum- und Verfahrensalternativen erfolgt auf Basis mehrerer Einflussgrößen, u. a. können

dabei Auswirkungen auf Sicherheit, Kapazität und Umwelt berücksichtigt werden.

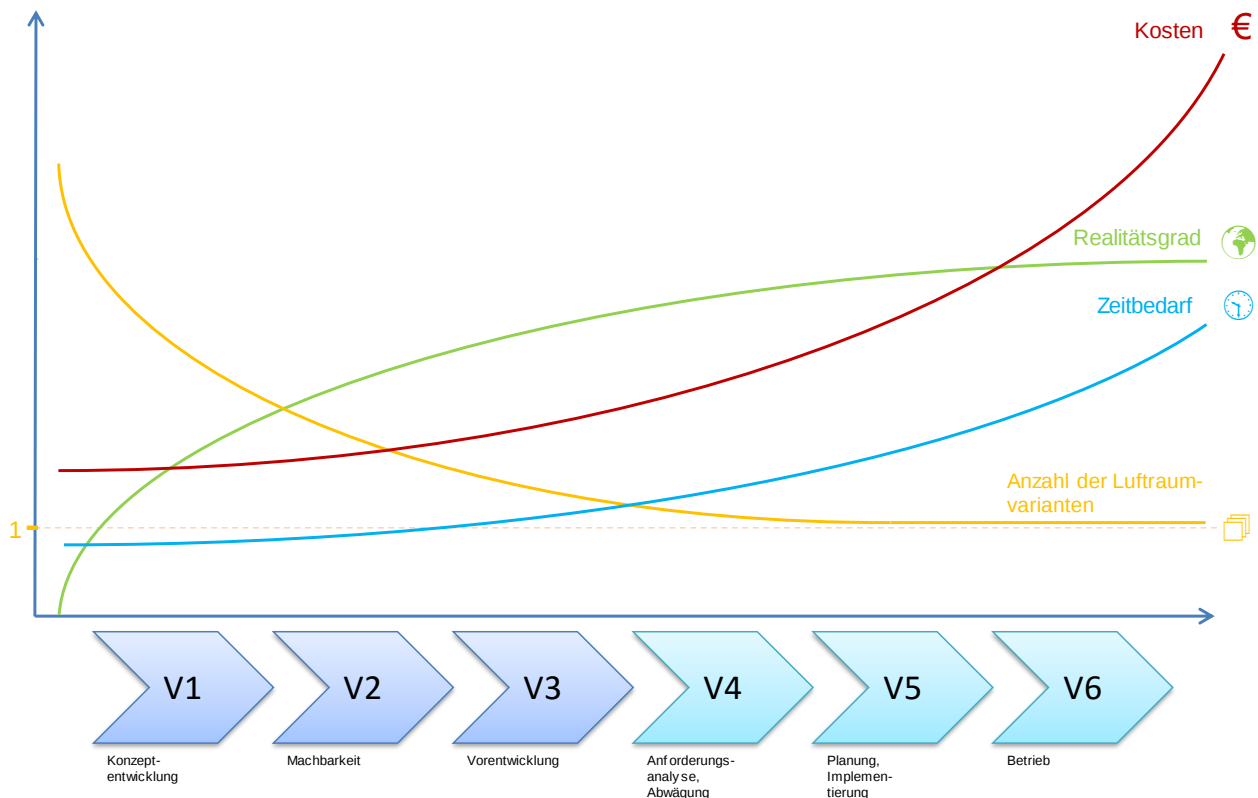


Abbildung 2: Kennzeichnende Eigenschaften der benötigten Simulationen in den Entwicklungsphasen

Im nachfolgenden Kapitel werden zunächst das Point Merge-Verfahren und seine Struktur vorgestellt. Auf dieser Basis werden in den späteren Abschnitten die einzelnen Entwicklungsschritte der Point Merge-Verfahren für den Flughafen Leipzig vorgestellt. Dabei werden an geeigneten Stellen auch auf die parallelen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten außerhalb der DFS verwiesen und es werden Querwirkungen aufgezeigt.

Das Point Merge-Verfahren

Als Beispiel für den Einsatz des zuvor beschriebenen Vorgehensmodells dient die Entwicklung und Einführung der sogenannten Point Merge-Verfahren (siehe auch [11]). Daher werden die Grundlagen dieser Anflugverfahren im Folgenden kurz vorgestellt.

Point Merge ist ein relativ neues Verfahren, um Luftfahrzeuge auf Kreissegmenten zum Endanflug zu leiten, so dass Verkehrsströme an einem sich nahe am Endanflug befindlichen Punkt (Merge Point) zusammengeführt werden können. Es basiert auf bereits eingeführten Technologien (u. a. Flächenavigation, Precision-Area Navigation/P-RNAV) und ist auch ein Bestandteil des SESAR-Konzeptes für den Anflughabereich [12].

Bei Point Merge-Verfahren werden die Luftfahrzeuge zunächst auf vertikal separierte, konzentrische

Kreisbögen (so genannte Sequencing Legs) geführt (siehe Abbildung 3). Als Hilfestellung für die Anfluglotsen werden weitere Kreisbögen mit konstantem Abstand auf dem Radarschirm dargestellt. Dies erleichtert die Erstellung der erforderlichen Horizontalstaffelung im Anflug. Mehrere dieser konzentrischen Kreisbögen bilden den Anflugtrichter, an dessen Ende der Merge-Punkt liegt.

Die Idee hinter Point Merge ist es, Luftfahrzeuge solange mit konstantem Abstand zu einem Punkt (Merge Point) fliegen zu lassen, bis die erforderliche Staffelung zum vorausfliegenden Luftfahrzeug hergestellt ist. Auf einem Kreisbogen (Sequencing Leg) haben alle sich dort befindlichen Flugzeuge den gleichen Abstand zum Merge-Punkt. Damit dienen diese als Zwischenspeicher aus dem der Anfluglotse die Luftfahrzeuge sehr präzise abrufen kann.

Ein Flugzeug verbleibt so lange auf dem Kreisbogen, bis das vorausfliegende Flugzeug den erforderlichen Abstand erreicht hat. Dann erhält es vom Fluglotsen eine direkte Freigabe zum Merge-Punkt, der dann idealerweise im kontinuierlichen Sinkflug (Continuous Descent Operations, CDO [13]) angefliegen werden kann. Besteht nun der richtige Abstand zwischen dem betrachteten Luftfahrzeug und seinem Nachfolger in der Anflugreihenfolge, kann das nachfolgende vom Lotsen ebenfalls in Richtung des Merge Points gedreht werden usw.

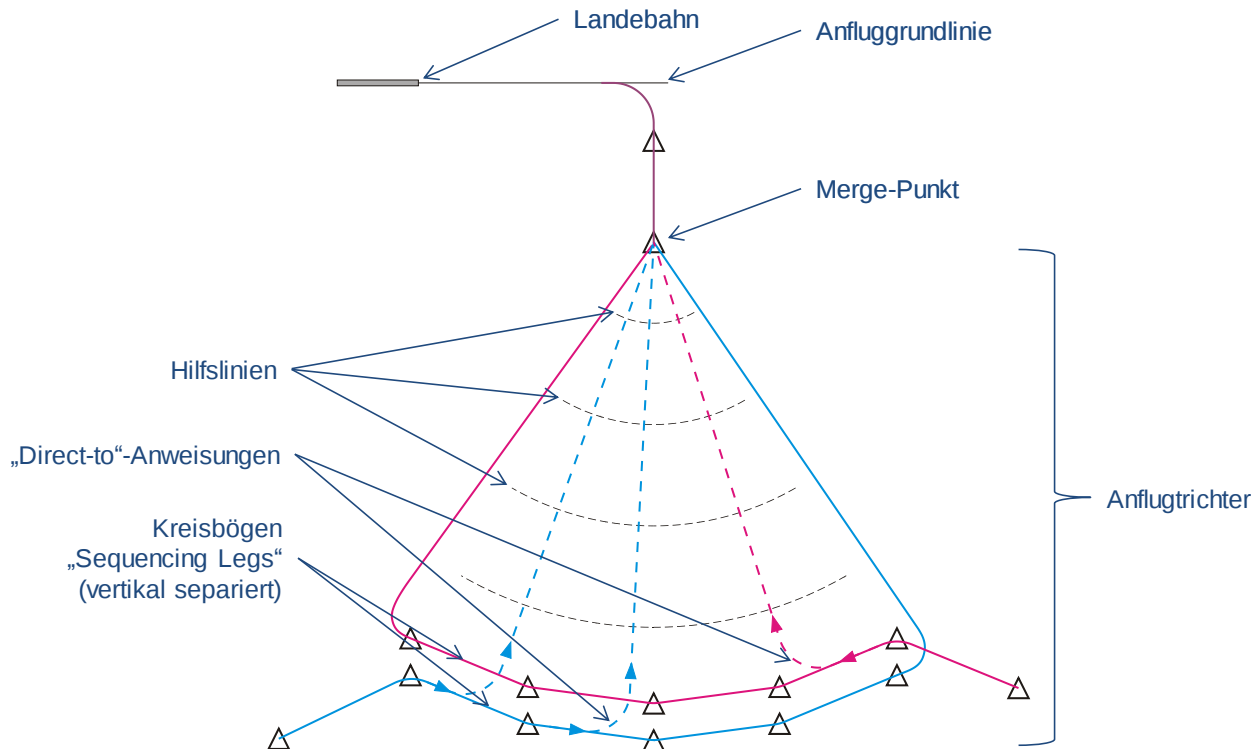


Abbildung 3: Basiselemente eines Point Merge-Systems [siehe auch [14]]

Vom Merge-Punkt aus fliegen die Luftfahrzeuge dann weiter zur Anfluggrundlinie, von wo sie das Instrumentenlandesystem auf die Landebahn führt.

Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Point Merge-Systems. Eine genauere Beschreibung findet sich im Point Merge-Konzept von Eurocontrol [14] und dem Point Merge-Planungshandbuch der DFS [8]. In der Mediathek der DFS (http://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Mediathek/) steht darüber hinaus ein Video über Point Merge zur Verfügung [15]. Dies führt in die allgemeinen Arbeitsprinzipien von Point Merge ein.

Wie die bisherigen Entwicklungen zeigen, können Point Merge-Implementierungen sehr unterschiedlich ausgelegt werden. So können diese z. B. nah am Endanflug (Beispiel: Oslo [16]) oder weit außerhalb des Anflughabereiches (Beispiel: Paris [17]) liegen. Point Merge konzentriert die anfliegenden Luftfahrzeuge über einem Punkt. Ob sich dies zum Beispiel entlastend auf die Fluglärmsituation auswirkt, hängt stark von der Möglichkeit ab, diesen Punkt über möglichst bevölkerungsarme Gebiete legen zu können. Aus der reinen Einführung von Point Merge-Verfahren können daher keine allgemein gültigen Auswirkungen abgeleitet werden.

Nach der allgemeinen Vorstellung des Anflugverfahren nach dem Point Merge-Prinzip wird in den nachfolgenden Kapiteln die konkreten Entwicklungsschritte

der Point Merge-Verfahren für den Flughafen Leipzig/Halle beschrieben.

Entwicklungsphase V0 – Erhebung der Anforderungen

Die Entwicklungsphase V0 ist eine optionale, der eigentlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeit vorgelagerte Phase, die im Wesentlichen zur genauen Definition des zu lösenden Problems und der damit verbundenen Anforderungen dient. Im Folgenden werden zunächst die initialen Entwicklungsarbeiten für Point Merge und anschließend die ersten Entwicklungen und Versuche bei der DFS kurz vorgestellt.

Das Point Merge-Verfahren geht auf die Forschung und Entwicklung von Eurocontrol aus den Jahren 2005 und 2006 zurück. Im Project CoSpace wurde am Eurocontrol Experimental Centre (EEC) in Bretigny seit Ende der neunziger Jahre an der Entwicklung von Airborne Separation Assistance Systems (ASAS, siehe [18]) gearbeitet. ASAS soll u. a. Fluglotsen in den Anflugsektoren entlasten, indem die Piloten mithilfe bordseitiger Systeme einen vom Lotsen vorgegebenen Abstand, das sogenannte Spacing, selbständig beibehalten. In Experimenten zeigte sich, dass die Nutzung dieser neuen Bordsysteme mit den bisher genutzten, konventionellen Anflugverfahren schwierig war (siehe [19]). Daher wurde nach neuen Anflugverfahren für die Anwendung von ASAS im

Anflugnabereich gesucht. In iterativen Simulationen wurden dazu verschiedene Alternativen miteinander verglichen. Diese reichten von unterschiedlichen Verfahren mit geraden Streckenelementen, bis hin zur Sequenzierung von Kreissegmenten aus auf einen Punkt. Dabei stellte sich die Nutzung von Routen in der Form von Kreisbögen als beste Alternative heraus (siehe [20]). Darüber hinaus zeigten sich bei den Versuchen mit diesem neuen Verfahren auch Vorteile ohne die Nutzung von ASAS. Daraus entstand die Idee, die neuen Verfahren als eigenständigen Zweig weiterzuentwickeln. Nach weiteren Entwicklungsarbeiten wurden sie von Eurocontrol 2008 unter der Bezeichnung „Point Merge“ als neues Konzept zur Sequenzbildung veröffentlicht [21]. Nach Arbeiten an generischen Lufträumen wurden am EEC anschließend Verfahren für Paris [22], Rom [23], Dublin [24] und Oslo [25] entwickelt, validiert und im Rahmen einer neu gegründeten „Point Merge User Group“ vorgestellt.

In Rahmen dieser Veröffentlichungen wurde auch die DFS auf Point Merge als neues Anflugverfahren aufmerksam. Die Entwicklungsgeschichte von Point Merge in der DFS begann Anfang 2010 mit der Überlegung, ob dieses neue Verfahren im Rahmen der laufenden Echtzeitsimulationen für die dritte Bahn München erfahrbar gemacht werden könnte. Da sich Point Merge signifikant von den bisher üblichen Verfahren unterscheidet, konnten die mit den konventionellen Verfahren gemachten Erfahrungen und Anforderungen nicht übertragen werden. Detaillierte Modelle für die Evaluierung von Point Merge-Verfahren durch Schnellzeitsimulationen lagen noch nicht vor. Schwerpunkt der Untersuchungen sollte das Sammeln von Erfahrungen und damit die direkte Einbindung von Fluglotsen sein. Daher erfolgte die erste Prüfung, ob Point Merge auch für den deutschen Luftraum geeignet ist, im Rahmen von Echtzeitsimulationen.

Daraufhin wurden generische, einfache Point Merge-Varianten entwickelt und an vier Simulationstagen im März und April 2010 erstmalig bei der DFS evaluiert. Mit den Simulationen im Forschungszentrum wurden dadurch erste Erfahrungen mit unterschiedlichen Ausprägungen des neuen Verfahrens gesammelt (Phase V0 in Abbildung 1). Die Erkenntnisse aus den Versuchen stellten sich sehr vielversprechend dar. Point Merge schien das Potenzial zu bieten, die in der Regel gegenläufigen Zielsetzungen Kapazität und Umweltverträglichkeit zu erfüllen. Das neue Anflugverfahren schien lärmarme und Treibstoff sparende kontinuierliche Sinkflüge (CDO) zu ermöglichen, ohne die Landekapazität einzuschränken. Unter günstigen Umständen könnte Point Merge auch die Kapazität

steigern (so nicht die Landebahn den eigentlichen Engpass darstellt) und mit entsprechenden Unterstützungssystemen (erweiterter Arrival Manager, AMAN) die Arbeitslast des Lotsen senken. Allerdings wurden auch Nachteile (z.B. großer Luftraumverbrauch) und die sehr unterschiedlichen Auslegungsmöglichkeiten von Point Merge aufgezeigt. Am Ende der Phase V0 wurden aufgrund der gesammelten positiven Erfahrungen mit Point Merge daraufhin weitere Entwicklungsarbeiten angestoßen (Gate V0). Da es sich um neue Verfahren handelte, waren die bisherigen Erfahrungen mit konventionellen Verfahren auf diese nur eingeschränkt übertragbar. Daher musste ein vollständiger Entwicklungszyklus (V1 bis V6) gestartet werden. Dabei wurde, neben dem Flughafen München, auch der Flughafen Leipzig/Halle mit in die Planung aufgenommen. Die Phase V0 wurde mit der Planung und Beantragung der weiteren Forschungsarbeiten abgeschlossen.

Entwicklungsphase V1 - Konzeptentwicklung

Die Phase V1 beinhaltet im Wesentlichen die Entwicklung von Luftraumvarianten, der damit verbundenen Arbeitsweisen und der dazugehörigen Varianten möglicher Betreiberkonzepte. Grundsätzlich werden in dieser Phase vor allem Expertengruppen und manchmal erste, einfache Schnellzeitsimulationen als Werkzeuge für die Bewertung und Auswahl von Varianten eingesetzt (siehe auch [9]). In der Regel ist die Anzahl der produzierten Luftraumvarianten in dieser Phase am größten. Dem gegenüber reichen häufig Arbeitsgruppen mit Experten aus, um die ersten Varianten auszufiltern (V1-Gate). Der benötigte Realitätsgrad ist gering (vgl. Abbildung 2). Das Vorgehen innerhalb dieser Phase erfolgt in Iterationen. In mehreren Arbeitstreffen von Experten werden dabei Teillösungen entwickelt, diese zu neuen Luftraumalternativen kombiniert und bewertet. Im Folgenden wird die Anwendung dieses Prinzips auf die Entwicklung der Point Merge-Verfahren beschrieben.

Die Point Merge-Forschungsarbeiten wurden nachträglich als eigenständiges Arbeitspaket in das

bestehende Projekt iPort⁵ (innovativer Airport) integriert. Das Arbeitspaket enthielt eine iterative Entwicklung und Validierung der Verfahren für Leipzig und München (V1 bis V3 in Abbildung 1). Die Laufzeit dieser Arbeiten betrug insgesamt zwei Jahre.

Häufig sind die Auslegungsmerkmale bei der Verfahrensgestaltung gegenläufig. Als ein Beispiel für

gegenläufige Auslegungen des Point Merge-Verfahrens zeigt Abbildung 4 die Möglichkeiten eine Implementierung auf die Merkmale Flugeffizienz (kürzeste Routenführung) und Kapazität (große Speicherfähigkeit) auszulegen. Weitere Details zu Gestaltungs- und Auslegungsmerkmalen von Point Merge-Verfahren finden sich im Point Merge-Konzept [14] und dem Point Merge-Planungshandbuch [8].

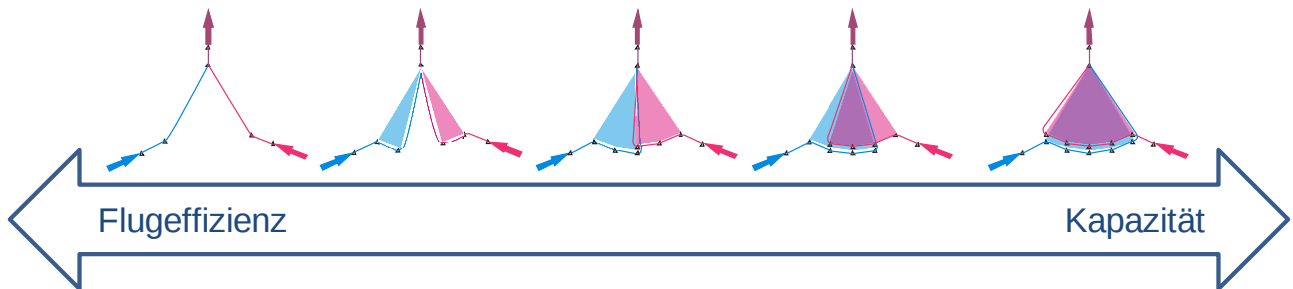


Abbildung 4: Beispiel für die teilweise gegenläufigen Auslegungsmöglichkeiten von Point Merge-Verfahren

Im Rahmen der Phase V1 wurden zunächst allgemeine Gestaltungskriterien für Point Merge-Verfahren im deutschen Luftraum erarbeitet. So zeigt [7] einen grundsätzlicher Vergleich der unterschiedlichen Anflugverfahren Radarfächer⁶, Transition to Final⁷ und Point Merge und leitet daraus allgemeine Bewertungskriterien ab.

Auf Basis dieser Vorarbeiten und der in der Phase V0 gemachten Erfahrungen wurden in einem nächsten Schritt zunächst mehrere Varianten für ein Point Merge-Verfahren am Flughafen Leipzig/Halle iterativ entwickelt. Lotsen, Verfahrensplaner und Simulationsexperten skizzierten dazu in einem Workshop zunächst mögliche Point Merge-Varianten und unterzogen sie einer ersten Bewertung. Im Rahmen des V1-Gates kristallisierte sich bereits zu diesem sehr frühen Zeitpunkt eine vielversprechende Basisauslegung für ein effektives Point Merge-Verfahren am Flughafen Leipzig/Halle heraus. Hierbei liegen die Trichter jeweils in direkter Verlängerung der Anfluggrundlinie (Abbildung 3). Bei Betriebsrichtung

26 ließ sich eine unnötige Flugwegverlängerung für Anflüge aus Osten vermeiden, in dem ein dritter, kürzerer Kreisbogen implementiert wurde (siehe Abbildung 5). Mit der Auswahl dieser Basisvariante für die weiteren Entwicklungsarbeiten wurde die Phase V1 beendet. Es folgten die Validierungen durch Schnellzeitsimulationen in der Phase V2.

Entwicklungsphase V2 - Machbarkeit

In der Phase V2 liegt der Fokus in der Regel auf der grundsätzlichen Machbarkeit und der Anwendbarkeit der Verfahrensalternativen. Da dies gegenüber der V1-Phase einen höheren Realitätsgrad der Werkzeuge erfordert, werden in der V2-Phase häufig Schnellzeitsimulationen zur Bewertung eingesetzt (siehe [9]). Meist erfolgt die Arbeitsweise dabei iterativ (siehe Abbildung 2), in dem Teillösungen zu neuen Luftraumalternativen kombiniert und diese erneut simuliert werden. Im V2-Gate erfolgt dann eine weitere Reduktion der Luftraumvarianten.

⁵ iPort war ein Verbundprojekt im Rahmen des 2. Aufrufs des Luftfahrtforschungsprogramms IV der Bundesregierung zur Untersuchung und Entwicklung von Maßnahmen zur Steigerung der Flughafenverkehrsleistung durch Optimierung des Flugverkehrsmanagements.

⁶ Radarfächer: Nutzung von angewiesenen Steuerkursen zu Sequenzierung der Luftfahrzeuge auf dem Endanflug. Dies

Verfahren wird vor allem bei geringem Verkehrsaufkommen genutzt.

⁷ Transition to Final: Nutzung von mäanderförmigen Routen zur Sequenzierung der Luftfahrzeuge. Dies ist das aktuelle Standardverfahren bei erhöhtem und hohem Verkehrsaufkommen (siehe linke Seite der Abbildung 5 und Abbildung 7).

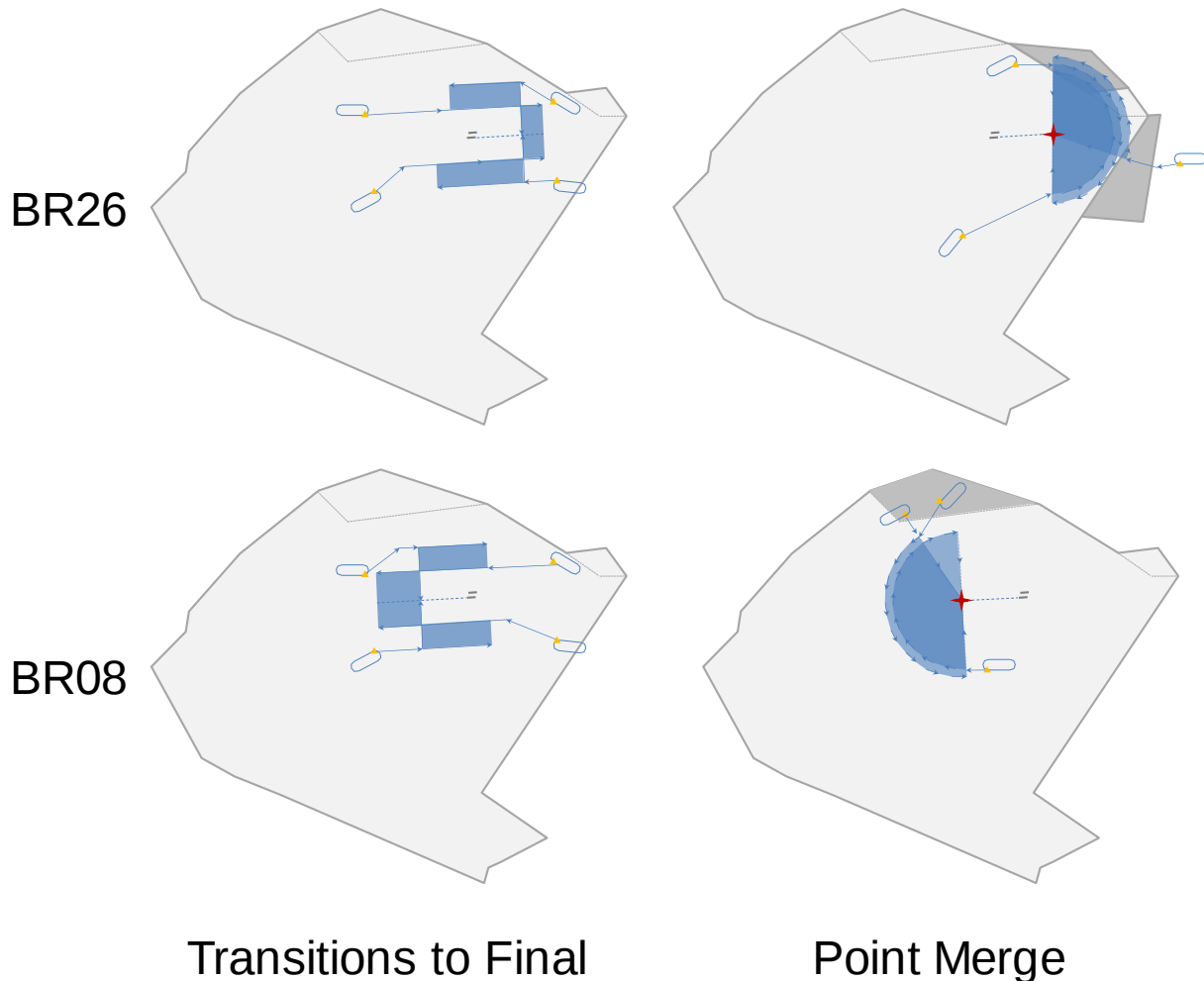


Abbildung 5: Vergleich der bisherigen Verfahren (Transition to Final) und der Basisauslegung Point Merge in der Phase V1 (Schnellzeitsimulation, siehe [26])

Bei der Entwicklung neuer Verfahren müssen in der Regel auch die genutzten Werkzeuge hinsichtlich ihrer Eignung überprüft und ggf. angepasst werden. Da bis zum Abschluss der Phase 3 (siehe folgendes Kapitel) noch keine Messungen der Tätigkeiten von Fluglotsen im Point Merge-System Leipzig vorlagen, wurde das in der Schnellzeitsimulation verwendete Arbeitslastmodell (siehe [27]) auf Basis der Erfahrungen mit den konventionellen Anflugverfahren und den Erkenntnissen aus der Echtzeitsimulation der Phase V0 zur Nutzung mit Point Merge-Verfahren angepasst. Darüber hinaus wurde der Schnellzeitsimulator um die Modellierung von Point Merge-Verfahren (Sequenzierung auf einen Punkt) erweitert.

Mittels einer Schnellzeitsimulation konnten anschließend erste Erkenntnisse für die in der Phase V1 entwickelten und ausgewählten Basisvarianten für beide Betriebsrichtungen (siehe Abbildung 5) gewonnen werden. Im Fokus der Simulation standen dabei die Auswirkungen von verschiedenen Verkehrslasten, sowohl im Einbahn- als auch im abhängigen Zweibahnbetrieb, auf die Pistenkapazität und

Verzögerungssituation im Vergleich zum bisherigen Transition-Verfahren. Wie Abbildung 5 zeigt, benötigen die Point Merge-Verfahren eine größere Fläche und ragen teilweise in die benachbarten Sektoren hinein (dunkelgraue Flächen). Dies erforderte weitere Abstimmungen in den folgenden Entwicklungsphasen.

Darüber hinaus wurden in dieser Phase weitere Verfahrensvarianten erstellt und durch Schnellzeitsimulationen bewertet. Dazu zählten zum Beispiel auch Varianten mit vorgelagerten Point Merge-Systemen. Diese dienten der Vorsequenzierung der Anflugströme auf die Einflugpunkte der in Abbildung 5 dargestellten Point Merge-Systeme. Diese Varianten wurden im Rahmen des V2-Gates wieder verworfen. Der Abschlussbericht der V2-Schnellzeitsimulationen [26] beschreibt und bewertet die für die Phase V3 ausgewählten Luftraumvarianten (siehe auch Abbildung 5).

Entwicklungsphase V3 - Vorentwicklung

Die Entwicklungsphase V3 dient in der Regel der abschließenden Validierung der in den davorliegenden Phasen ausgewählten Luftraumvarianten. Sie beschließt die Vorentwicklung und bereitet die eigentliche Verfahrensentwicklung in den Phasen V4 bis V5 vor. Ziel dieser Phase ist es, eine Hauptvariante festzulegen und damit den Übergang von Forschung und Entwicklung zur Verfahrensentwicklung zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, wird der höchste Realitätsgrad innerhalb der Forschungsanteile (V1 – V3) benötigt. Daher erfolgt die V3-Validierung in der Regel durch umfangreiche Echtzeitsimulationen. Damit steigen in dieser Phase der Zeitbedarf und die Kosten der Simulationen deutlich an (siehe Abbildung 2).

Aufbauend auf der Schnellzeitsimulation der Phase V2 wurden die neuen Verfahren im Rahmen der Phase V3 in einer Reihe von Echtzeitsimulationen untersucht und validiert. In mehreren drei- bis viertägigen Simulationen konnten Lotsen im Forschungszentrum weitere Erfahrungen im Umgang mit Point Merge sammeln. Sowohl einfache Fragestellungen, wie die richtige Phraseologie, als auch komplexere Themen, wie Betriebsrichtungswechsel, Pistensperrung oder der Umgang mit Gewitterzellen im Bereich der Trichter, waren Gegenstand der Simulationen. Durch künstliche Verkehrssteigerungen war es im Rahmen der V3-Validierung auch möglich das Verhalten des Systems an der Kapazitätsgrenze zu bewerten. Abbildung 6 zeigt die in der Echtzeitsimulation validierten Verfahren. Einen Überblick über die Flugspuren der Validierung bietet Abbildung 7. Weitere Details finden sich im Abschlussbericht der Echtzeitsimulationen im Rahmen der Phase V3 [28].

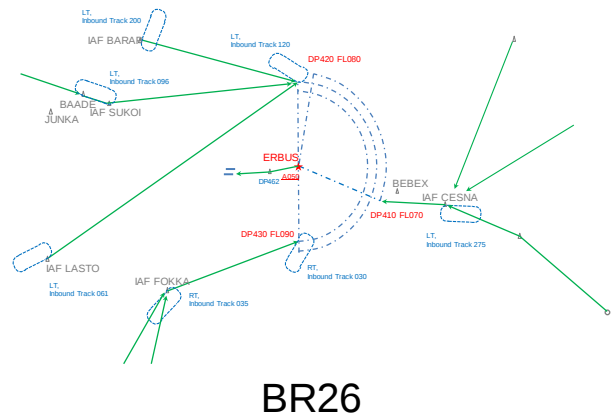
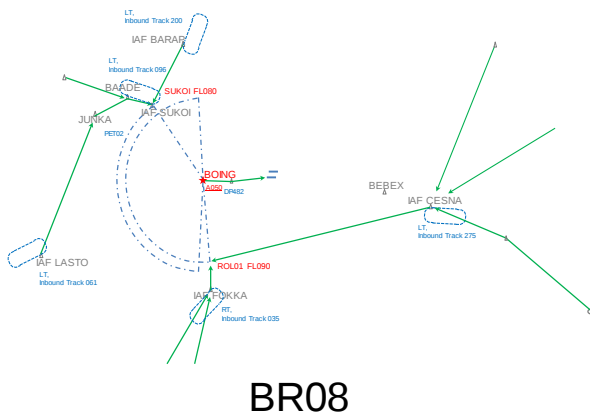
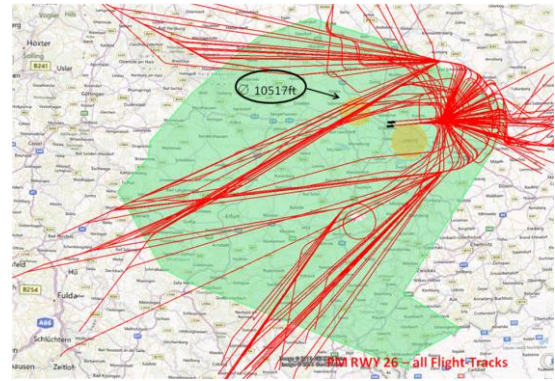
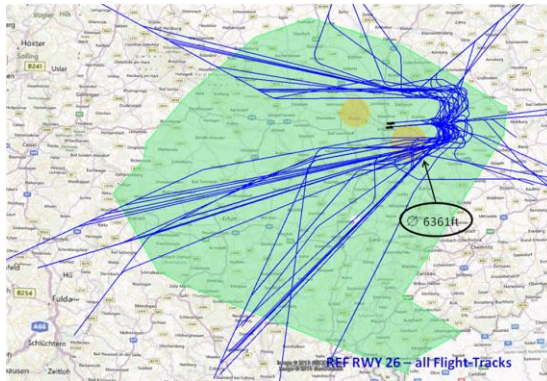
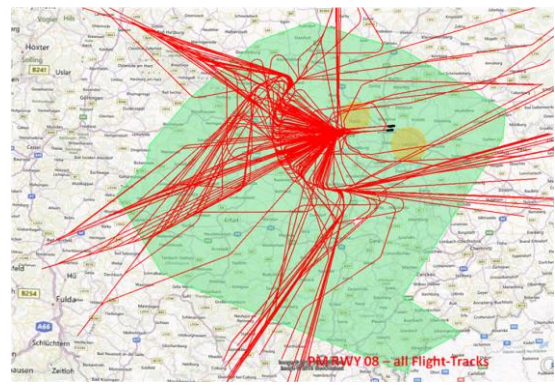
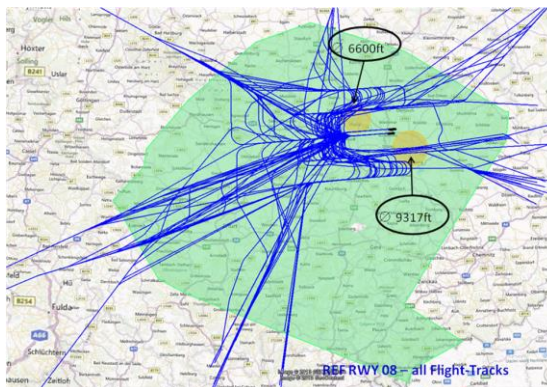


Abbildung 6: Point Merge-Varianten der Echtzeitsimulationen in der Phase V3

BR26



BR08



Transitions to Final

Point Merge

Abbildung 7: Flugspuren der abschließenden V3-Validierung (Echtzeitsimulation, alle Flugspuren der jeweiligen Betriebsrichtung übereinandergelegt)

Als Gesamtfazit des Forschungsprojektes (iPort Arbeitspaket 1.7) ließ sich festhalten, dass die Umsetzung eines Point Merge-Verfahrens am Flughafen Leipzig/Halle unter den simulierten Bedingungen grundsätzlich möglich ist. Weder Kapazitätseinbußen noch Sicherheitsrisiken waren zu verzeichnen. Allerdings zeigte sich in den Validierungen auch, dass noch Verbesserungspotential hinsichtlich des detaillierten Verfahrensdesigns (Flughöhe in den Kreisbögen, genaue Lage der Merge-Punkte, Routenführung zu den Trichtern) bestand. Neben den Simulationen erfolgte in dieser Zeit auch ein Austausch mit anderen Flugsicherungsdienstleistern zum Themenkomplex Point Merge. So wurde an Arbeitstreffen der Point Merge User Group teilgenommen und es erfolgte ein Besuch in Oslo, um die Erfahrungen der dortigen Kollegen mit der weltweit ersten Einführung von Point Merge bei den eigenen Entwicklungen berücksichtigen zu können.

Entwicklungsphase V4 - Anforderungsanalyse

Bei der Nutzung bereits etablierter, konventioneller Anflugkonzepte erfolgt der Einstieg in eine Verfahrensplanung direkt in die Phase V4. Im Rahmen der

Entwicklung von Verfahren auf Basis neuartiger Konzepte nutzt die Phase V4 die Vorentwicklung der Phasen V1 bis V3 zur Grundlage der konkreten, detaillierten Verfahrensplanung. In dieser Phase werden im Allgemeinen zunächst die spezifischen Anforderungen für die Implementierung erhoben und ggf. verfeinert. Darüber hinaus werden die Grundlagen für die anschließenden Abwägungen und Sicherheitsbewertung der Luftraumvarianten geschaffen. Zu den dabei zu berücksichtigen Kriterien können u. a. Sicherheitsaspekte, Kapazität, Effizienz und Auswirkungen auf die Umwelt (z. B. Fluglärm) gehören. Als Werkzeuge werden dafür häufig weitere, detailliertere Schnellzeit- und Echtzeitsimulationen genutzt. Dabei können im Rahmen der DFS-Werkzeugkette (siehe [9, 10]) die Arbeiten der vorangegangenen Phasen nahtlos übernommen werden.

Wie im ersten Kapitel beschrieben, ging nach dem Abschluss des Forschungs- und Entwicklungsanteils im Rahmen der Phasen V1 bis V3 die Federführung und damit verbunden auch die Projektleitung auf den Bereich Center über. In diesem Rahmen wurde der Fokus der weiteren Point Merge-Entwicklung der DFS zunächst auf den Flughafen Frankfurt gelegt (siehe

Pressemittelung „DFS prüft innovatives Anflugverfahren Point Merge“ [29]) und damit die Entwicklung für den Flughafen Leipzig/Halle temporär unterbrochen. In diesem Rahmen fiel Anfang 2014 die Entscheidung, das Thema Point Merge Leipzig mit dem Ziel einer betrieblichen Implementierung erneut aufzugreifen, um Erfahrungen an einem Flughafen mittleren Verkehrsaufkommens zu sammeln. Infolgedessen begann die zweite Hälfte der Entwicklung für den Flughafen Leipzig/Halle (Phasen V4 bis V6 in Abbildung 1). Das Hauptaugenmerk lag nun auf der detaillierten Analyse der Anforderungen, der Implementierungsplanung sowie der betrieblichen Nutzung des Verfahrens. Um erste betriebliche Erfahrungen mit Point Merge-Verfahren im deutschen Luftraum zu machen, wurde darüber hinaus eine erste, zunächst zeitlich befristete Testimplementierung am Flughafen Hannover angestoßen (siehe [30]). Die gewählte Vorgehensweise für die Einführung von Point Merge in Deutschland beschreibt [31].

Aufbauend auf den Ergebnissen der iPort-Simulationen (Phasen V1 – V3) fand eine weitere Konkretisierung der Point Merge-Verfahren für den Flughafen Leipzig/Halle statt. In diesem Rahmen wurden mehrere Point Merge-Varianten entwickelt. Alle Varianten nutzten das in den vorhergehenden Phasen entwickelte und validierte Basislayout. Unterschiede bestanden im Wesentlichen in den Einflughöhen der Kreisbögen und der Lage des Merge-Punktes.



Abbildung 8: Beispiele für eine Lärmrechnung auf Basis von Schnellzeitsimulationen (Transitions BR26 links, Point Merge BR26 rechts)

Entwicklungsphase V5 - Implementierung

Die Phase V5 ist in der Regel geprägt durch eine weitere Detaillierung der Verfahren, die Überprüfung der Konformität zu den Vorgabedokumenten, die anschließende Abstimmung und das Einreichen der Verfahren bei den Genehmigungsbehörden sowie die anschließende Veröffentlichung. Zusätzlich müssen die Verfahren in die Systeme der Flugsicherung eingebracht werden und die betroffenen Fluglotsen auf das neue Verfahren geschult werden. Simulationen

Zur Unterstützung der Abwägungen wurden weitere Schnellzeit- und Echtzeitsimulationen durchgeführt. Dabei konnten die Arbeiten der früheren Phasen direkt weiter genutzt werden. Schwerpunkte der Untersuchungen lagen auf Hochlastszenarien und unterschiedlichen Spitzen der Verkehrslast. In den Echtzeitsimulationen wurde die Länge der Simulationsläufe auf bis zu drei Stunden ausgedehnt. Weitere Details finden sich im Abschlussbericht dieser Simulationen [32].

In den vorangegangenen Phasen zeigte sich, dass es sinnvoll ist, bereits in frühen Entwicklungsphasen (V2 und V3) auch Aussagen zu Auswirkungen auf die Lärmsituation zur Bewertung und Auswahl von Verfahrensalternativen treffen zu können. Da dies bisher nicht möglich war, wurde zunächst ein Konzept zur trajektorienbasierten Lärmberechnung auf Basis von Schnellzeitsimulationen entwickelt [33]. Anschließend erfolgte die Entwicklung dieser Technik (siehe [34]) und die Aufnahme in die Werkzeugkette [10]. Damit steht diese Technik auch für zukünftige Verfahrensentwicklungen bereits in den Entwicklungsphasen V2 und V3 zur Verfügung.

Mit der Bewertung und Abwägung der Verfahrensalternativen schafft die Phase V4 die Grundlage für die Veröffentlichung und das Training der neuen Verfahren in der Phase V5.

werden in diesem Rahmen z. B. zur Überprüfung von neuen Adaptionen von Systemen und vor allem für das Training der Fluglotsen eingesetzt. Damit steigt der benötigte Realitätsgrad der Simulatoren weiter an (vgl. auch Abbildung 2). In dieser Phase werden Echtzeitsimulatoren mit Kopien der operationellen ATM-Systeme gekoppelt (siehe [9]). Die Veröffentlichung, Adaption und Ausbildung erfolgt nur für die einzuführende Luftraumvariante. Wie in Abbildung 2 gezeigt, reduziert sich die Anzahl der Varianten damit auf eine. Bedingt durch die vielfältigen Tätigkeiten und

den Bedarf alle betroffenen Lotsen zu schulen, benötigt die V5-Phase entsprechend hohe zeitliche und finanzielle Aufwände. Das Training der neuen Verfahren beschreiben [35] und [36].

Im Rahmen der V5-Phase wurde geplant, dass während des späteren Probetriebs (V6) ein Vergleich zwischen der konventionellen Arbeitsweise und den neuen Verfahren erfolgen soll. Um dies zu ermöglichen, wurden Messungen der Belastung und Beanspruchung sowie eine Aktivitätenanalyse im laufenden Betrieb (Transition-Verfahren) durchgeführt. Hierfür wurden im September 2015 in einer zweiwöchigen Beobachtungsphase Lotsenaktivitäten im Betriebsraum für die Arbeitspositionen Thüringen Radarlotse, Thüringen Planungslotse und Leipzig Einspeiser (Feeder) mit dem Transition-Verfahren erhoben.

Die Entwicklungsphase V5 endete mit der Veröffentlichung im Luftfahrthandbuch [37] (siehe Abbildung 9) und der anschließenden Nutzung der neuen Verfahren [38]. Damit wurde aus der Invention

Point Merge tatsächlich eine Innovation für den Flughafen Leipzig/Halle. Auf Basis der vorangegangenen Simulationen erwartete die DFS von dieser Innovation [39]:

- Die Städte Leipzig und Halle werden von Fluglärm entlastet;
- Die Arbeitslast der Fluglotsen wird gesenkt;
- Die Frequenzbelastung insbesondere des Sektors Thüringen wird reduziert;
- Der Landebahndurchsatz bleibt gleich oder wird gesteigert;
- Die Flugzeiten werden nicht verlängert;
- Die Robustheit gegenüber Störeinflüssen wird verbessert;
- Das durchschnittliche Vertikalprofil wird verbessert (höhere Horizontalflugsegmente, mehr CDOs).

Dies soll zunächst in einem Probetrieb der neue Verfahren in der anschließenden Entwicklungsphase V6 überprüft werden.

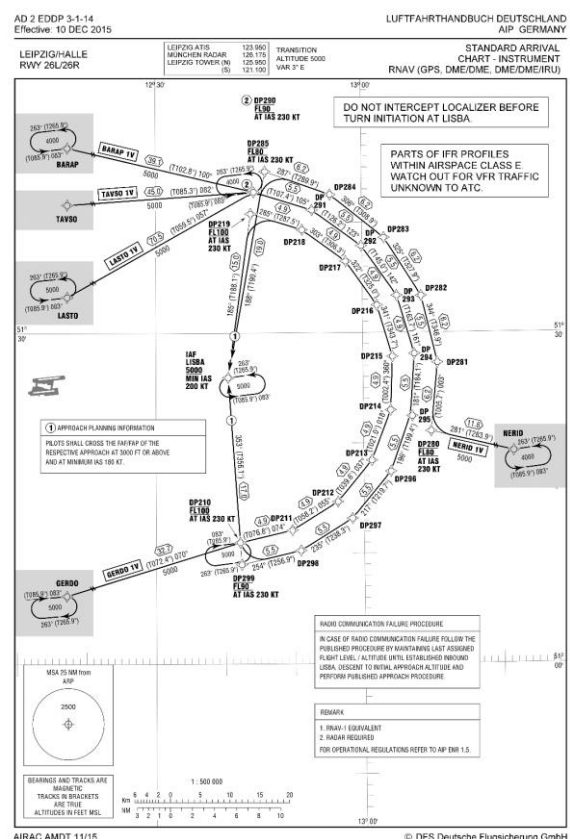
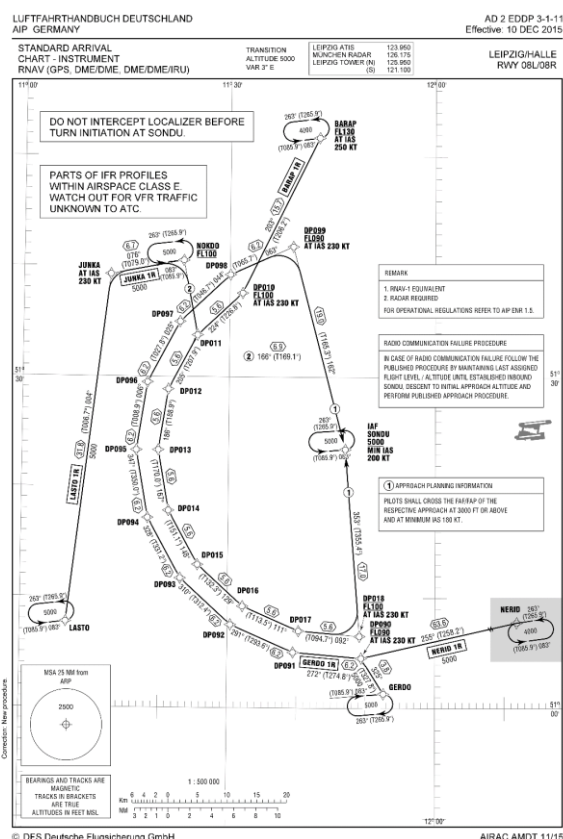


Abbildung 9: Das eingeführte Point Merge-Verfahren für den Flughafen Leipzig/Halle [37]

Entwicklungsphase V6 - Betrieb

In der Phase V6 erfolgt der Betrieb des neu eingeführten Verfahrens. Aufgrund der dabei gewonnenen Erfahrungen können weitere kleine

Anpassungen erforderlich sein. Simulationen werden in dieser Phase zum Schulen neuer Lotsen (pre On the Job Training, preOJT) und für den Proficiency-Erhalt eingesetzt. Da sich die Point Merge-Verfahren zunächst in einem Probetrieb befinden, erfolgen

darüber hinaus weitere Messungen. Nach einer Eingewöhnungsphase wurden hierfür im April 2016 in einer erneuten Beobachtungsphase Lotsenaktivitäten im Betriebsraum erhoben und mit den zuvor erfolgten Messungen der Transition-Verfahren verglichen. Darüber hinaus wurden die Flugspuren bezüglich der Nutzung von Point Merge analysiert und den Transition-Verfahren der Vorjahre gegenübergestellt (siehe Abbildung 10). Dazu werden Methoden eingesetzt, die ursprünglich für die Auswertung von Echtzeitsimulationen entwickelt wurden. Im Rahmen dieser Auswertungen erfolgt auch eine Rückkopplung der Ergebnisse zu den zuvor eingesetzten Analysewerkzeugen, um die Ergebnisse aus den Simulationen zu verifizieren und ggf. die genutzten Modelle anpassen zu können. Bisher zeigten sich gute Übereinstimmungen der Messungen mit den Prognosen. Allerdings ergeben sich bei einem solchen

Vergleich besondere Herausforderungen durch die sehr unterschiedlichen Stichprobengrößen. Daher wurden im Laufe des Prozesses die Methoden weiter verfeinert und angepasst. So erfolgte z.B. eine Umstellung der Auswertungen vom arithmetischen Mittel auf den Median.

Derzeit läuft der Probetrieb und die damit verbundenen Auswertungen noch. Daher können im Rahmen dieses Artikels noch keine abschließenden Ergebnisse des Probetriebs aufgezeigt werden. Die bisherigen Analysen zeigen jedoch, dass sich zumindest die erhoffte Entlastung der Städte Leipzig und Halle bewahrheitet hat. Diese werden deutlich weniger überflogen und die verbleibenden Überflüge erfolgen in deutlich größeren Höhen (siehe Vergleich der typischen Flugverläufe in Abbildung 10).

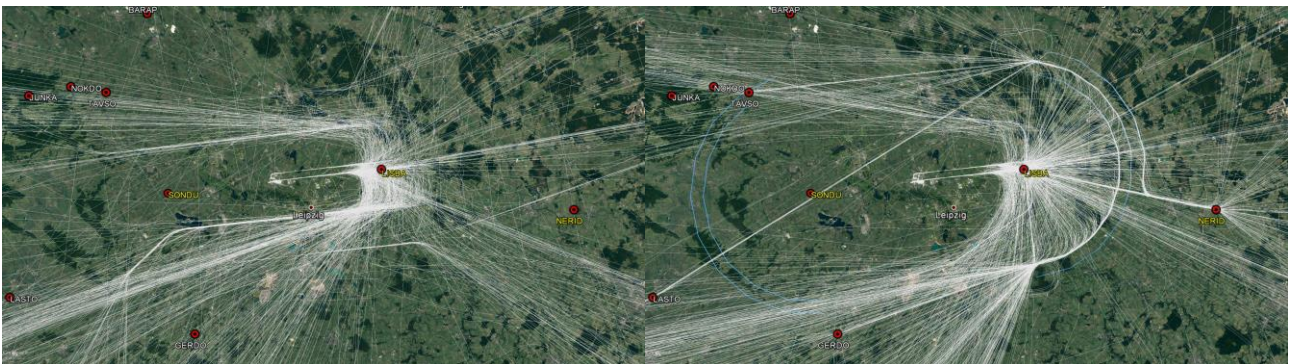


Abbildung 10: Typische Flugverläufe vor und nach der Einführung von Point Merge (jeweils die Anflüge einer Betriebsrichtung innerhalb eines Monats von täglich 22:00 bis 02:00 Uhr übereinandergelegt)

Entwicklungsphase V7 - Außerbetriebnahme

Die optionale Entwicklungsphase V7 hat in der Luftraum- und Verfahrensentwicklung lediglich eine geringe Bedeutung und wird nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Sie dient im Wesentlichen der Kompatibilität mit den vergleichbaren Vorgehensmodellen der Systementwicklung. Bei einer solchen Entwicklung werden in dieser Phase die Altsysteme außer Betrieb genommen und ggf. der Betriebsraum zurückgebaut. Im Falle von Point Merge könnte der mögliche Übergang von einem Probetrieb in den Regelbetrieb oder auch ein späterer Entfall der bisherigen Verfahren als eine Art von Transfer und damit als V7-Phase interpretiert werden.

Fazit

In den vorherigen Kapiteln wurde das Vorgehen zur Entwicklung von Lufträumen von der Idee zum eingeführten Verfahren bzw. zur Innovation entlang des Phasenmodells am Beispiel der Point Merge-Verfahren für den Flughafen Leipzig/Halle vorgestellt.

Neben der beschriebenen Entwicklung innerhalb der DFS wurden weltweit weitere Point Merge-Systeme entwickelt und eingeführt. So sind aktuell an folgenden Flughäfen Point Merge-Verfahren veröffentlicht:

- Oslo (2011),
- Dublin (2012),
- Seoul (2012),
- Paris (2013, im Bereich der Bezirkskontrolle),
- Kuala Lumpur (2014),
- Lagos (2014),
- Kanarische Inseln (2014),
- drei norwegischen Regionalflughäfen (2014)
- Hannover (2014),
- Leipzig (2015) und
- London City sowie Biggin Hill (2016).

Weitere Implementierungen befinden sich in der Entwicklung.

Darüber hinaus sind Point Merge-Verfahren Bestandteil der Aviation Block Upgrades der ICAO [13] und werden im CDO-Handbuch der ICAO als Verfahren

zur Ermöglichung kontinuierlicher Sinkflüge aufgeführt [40]. Damit gewinnt Point Merge zunehmend den Charakter eines Standardverfahrens.

Wie die vorgestellten Arbeiten zeigen, hat sich die Anwendung des Vorgehensmodells und der dazugehörigen Werkzeugkette (siehe [9] und [10]) bewährt. So konnten z. B. die Daten und Arbeiten von einer vorhergehenden Phase direkt in die anschließende Phase übernommen werden. Obwohl aktuell noch der Probetrieb des neuen Verfahrens läuft und daher noch nicht alle Auswertungen vorliegen, kann bereits festgestellt werden, dass im Bezug zum Auslegungskriterium Fluglärm aus der Invention eine Innovation wurde. Die Prognosen haben sich hier bestätigt. Es fand eine merkbare Lärmentlastung der Städte Leipzig und Halle in den kritischen Nachtstunden statt.

Darüber hinaus ist es im Rahmen der vorgestellten Entwicklungsarbeiten gelungen, die genutzte Werkzeugkette enger miteinander zu verzahnen, zusätzliche Modelle für das neue Verfahren zu entwickeln und diese in die Simulatoren zu integrieren. Mit der Entwicklung einer trajektorienbasierten Lärmberechnung auf Basis von Schnellzeitsimulationen ist es gelungen, die Werkzeugkette an einer wichtigen Stelle auszubauen. Mit dieser Erweiterung können neue Verfahrensalternativen bereits in früheren Entwicklungsschritten als zuvor hinsichtlich der Auswirkungen in diesem Bereich bewertet und miteinander verglichen werden. Durch die Nutzung von Methoden der Echtzeitsimulation zur Auswertung der Daten aus dem Probetrieb konnte die Werkzeugkette auf alle Hauptphasen V1 bis V6 ausgedehnt werden. Mit diesen Entwicklungen sind die Werkzeuge und Methoden sowie die dafür notwendige Expertise für zukünftige Arbeiten gut gerüstet. Sie stehen für weitere Entwicklungszyklen der Luftraum- und Verfahrensentwicklung aber auch für die iterative Systementwicklung bereit, um Inventionen in Innovation zu überführen.

Literaturverzeichnis

- [1] EUROCONTROL: *European Operational Concept Validation Methodology Version 3.0*. Brüssel: European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2010
- [2] FAA/EUROCONTROL AP5: *Operational Concept Validation Strategy Document*. 2. Aufl. Brüssel: European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2008
- [3] DIN SPEC 77555-1:2013-09; DIN CEN/TS 16555-1. 2013-09. *Innovationsmanagement - Teil 1: Innovationsmanagementsysteme; Deutsche Fassung CEN/TS 16555-1:2013*
- [4] GRAHAM, Bob: *SESAR Strategy Document: Validation and Verification*. 1. Aufl. Brüssel: SESAR Joint Undertaking, 2009
- [5] ROUSSEAU, Hervé: *FABEC OPS Validation Process For Studies and Projects*. Brüssel: FABEC, 2015
- [6] COOPER, Robert G.: *Top oder Flop in der Produktentwicklung: Erfolgsstrategien: von der Idee zum Launch*. 2. Aufl. Weinheim : Wiley-VCH-Verl., 2010
- [7] HAUPT, Dennis Bastian: *Entwicklung einer standardisierten Methode zur Bewertung der Einführung von modernen Anflugverfahren mit Hilfe von moderner Flächennavigationsausrüstung im deutschen Luftraum*. Berlin: Technische Universität Berlin, 2012
- [8] GLAW, Sebastian: *Point Merge Systems Planungshandbuch. Eine Einführung in die Verfahrensplanung am Beispiel von Point Merge Verfahren*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2012
- [9] HABA, Oliver: *Eine anwendungsorientierte Einführung in ATM-Simulationen*. In: *Innovation im Fokus* 2016 (2016), Nr. 1, S. 5–16
- [10] AHLERS, Peter; LEEMÜLLER, Ralph; HABA, Oliver; GEHRES, Alexander: *Guidancematerial Werkzeugkette*. 1. Aufl. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2016
- [11] CIUPKA, Sandra: *Langer Weg zum Ziel „Point Merge“*. In: *direct* 2012 (2012), Nr. 4, S. 10
- [12] BARRET, Claude; BUI, Nga; CHABROL, Caroline; ZEGHAL, Karim; FAVENNEC, Bruno: *Step 1 AMAN + Point Merge OSED. SESAR P05.06.07 D04*. 2. Aufl. Brüssel : SESAR Joint Undertaking, 2011
- [13] ICAO: *DOC9931 Continuous Descent Operations (CDO) Manual*. 1. Aufl. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2010 (ICAO DOC 9931)
- [14] FAVENNEC, Bruno; VERGNE, François; ZEGHAL, Karim: *Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and Continuous Descent - Operational Services and Environment Definition (OSED)*. 2. Aufl. Brétigny: Eurocontrol Experimental Centre, 2010
- [15] DFS DEUTSCHE FLUGSICHERUNG GMBH: *Point Merge*. URL https://www.dfs.de/dfs_homepage/mediathek/de/Defaults/Mediatheken/DFS-Filme%3A/20_Point-Merge%20internet.mp4 – Überprüfungsdatum 17.01.2017
- [16] STORØY MELVOLL, Jan; RANGNES, Tormod: *AVINOR improves Arrival & Departure Operations at Oslo Gardermoen*. Oslo, 07.04.2011
- [17] FABEC: *Live “Point Merge” within Paris ACC: the first “Point Merge” to be assessed in E-TMA*. 01.03.2012
- [18] FAA/EUROCONTROL ACTION PLAN 1: *Principles of Operation for the Use of Airborne Separation Assurance Systems*. Brüssel: European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2001
- [19] HABA, Oliver; HAUGG, Eliana; UDOVIC, Andreas: *Sequencing & Merging Simulations Final Report*. 1. Aufl. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2005
- [20] BOURSIER, Ludovic; FAVENNEC, Bruno; HOFFMAN, Eric; ROGNIN, Laurence; TRZMIEL, Aymeric; VERGNE, François; ZEGHAL, Karim: *Airborne Spacing in the Terminal Area: Controller Experiments on Mixed Equipage, Abnormal Situations and Transition. EEC Note No. 24/06*, 2006
- [21] FAVENNEC, Bruno; VERGNE, François; ZEGHAL, Karim; SYMMANS, Terry; HOULIHAN, Diarmuid: *Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and CDA - Operational Services and Environment Definition*. 1. Aufl. Brétigny: Eurocontrol Experimental Centre, 2008

- [22] FAVENNEC, Bruno; ROGNIN, Laurence; TRZMIEL, Aymeric; VERGNE, François; ZEGHAL, Karim: *Point Merge in Extended Terminal Area. EEC Technical/Scientific Report No. 2010-011*. Brétigny: Eurocontrol Experimental Centre, 2010
- [23] GHIDINI, Roberto; MELGIOVANNI, Vincenzo; LANZI, Paola: *Point Merge System. Results of ENAV Prototyping Sessions*. 2. Aufl. Rom: Società Nazionale per l'Assistenza al Volo - ENAV, 2008
- [24] DORBES, Alexandra; FITZPATRICK, Marie; FOTA, Nicolas; HOULIHAN, Diarmuid; SYMMANS, Terry; TRZMIEL, Aymeric: *Real Time Simulation based on Dublin TMA Validation Report. EEC Report No. 410*. Brétigny: Eurocontrol Experimental Centre, 2008
- [25] TIBERIA, Stefano; VERGNE, François: *Real Time Simulation Oslo Advanced Sectorization and Automation Project - Validation Report: EEC Technical/Scientific Report No. 2010-002*. Brétigny: Eurocontrol Experimental Centre, 2010
- [26] SCHMIDT, Christian; GEHRES, Alexander: *Abschlussbericht Schnellzeitsimulation AirTop32 „Point-Merge-Verfahren am Flughafen Leipzig“*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2012
- [27] AHLERS, Peter; LEEMÜLLER, Ralph; HABA, Oliver; GEHRES, Alexander: *Guidancematerial taskbasiertes Arbeitslastmodell*. 1. Aufl. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2016
- [28] GEHRES, Alexander: *Abschlussbericht Echtzeitsimulation Point Merge Leipzig*. Projekt iPort Arbeitspaket AP1.7. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2013
- [29] DFS DEUTSCHE FLUGSICHERUNG GMBH: *DFS prüft innovatives Anflugverfahren „Point Merge“*. Langen, 22.12.2011. URL https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Pressemitteilungen/2011/22.12.2011.-%20DFS%20pr%C3%BCft%20innovatives%20Anflugverfahren%20%E2%80%9EPoint%20Merge%E2%80%9C/ – Überprüfungsdatum 26.01.2017
- [30] *Implementation of Point Merge System (PMS) for arrivals at Hannover Airport (EDDV). AIC IFR 12*. 2014-11-13
- [31] KALUZA, Roland: *Point Merge in Germany*, Point Merge Conference. Oslo, 03.03.2015
- [32] GEHRES, Alexander; HEPPNER, Julian: *Point Merge LEJ Abschlussbericht der Schnellzeit- und Echtzeitsimulationen*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2015
- [33] RUNOW, Jascha: *Lärmberechnungen auf Basis von Trajektorien aus Schnellzeitsimulationen*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, 2015
- [34] RUNOW, Jascha; GROTH, Thomas; SCHWANKE, Stefan: *Lärmberechnungen auf Basis von Trajektorien aus Schnellzeitsimulationen*, OP-Fachkolloquium, Langen, 08.06.2015
- [35] KAUBE, Sylvia: *Point Merge - auch bei Starkwind. In der EBG Ost in den Sektoren Thüringen und Franken haben die Schulungen für Point Merge Leipzig begonnen – eine Woche Theorie und Praxis zur Vorbereitung auf ein neues Anflugverfahren*. In: *direct* 2015 (2015), Nr. 3, S. 21
- [36] TELEKI, Sandra: *„Point Merge Leipzig“ - Team München stellt sich vor*. In: *direct* 2015 (2015), Nr. 2, S. 7
- [37] DFS DEUTSCHE FLUGSICHERUNG GMBH: *Luftfahrthandbuch Deutschland IFR. Aeronautical Information Publication – Überprüfungsdatum 10.12.2015*
- [38] DFS DEUTSCHE FLUGSICHERUNG GMBH: *Neues Anflugverfahren für Flughafen Leipzig: Neues Anflugverfahren für Flughafen Leipzig/Halle „Point Merge“ soll Fluglärmmentlastung bringen*. Langen, 17.12.2015. URL https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Pressemitteilungen/2015/17.12.2015.-%20Neues%20Anflugverfahren%20f%C3%BCr%20Flughafen%20Leipzig/ – Überprüfungsdatum 2017-01-16
- [39] WETZEL, Frank: *Pressegespräch zur Einführung von Point Merge am Flughafen Leipzig/Halle*. München, 17.12.2015
- [40] ICAO: *Working Document for the Aviation Systems Block Upgrades. The Framework for Global Harmonization*. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2013

Abkürzungsverzeichnis

AMAN	Arrival Manager
ASAS	Airborne Separation Assistance System
ATM	Air Traffic Management
CDO	Continuous Descent Operations
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
EEC	Eurocontrol Experimental Centre
E-OCVM	European Operational Concept Validation Methodology
FAB	Functional Airspace Block Europe Central
iPort	innovativer Airport
preOJT	pre On the Job Training
P-RNAV	Precision-Area Navigation
SESAR	Single European Sky ATM Research
TRL	Technology Readiness Level

Prototyp einer webbasierten Radaranzeige

Jan Fiegert

Vorgeschichte und Motivation

Die DFS als Flugsicherungsorganisation hat den Auftrag, für die sichere, geordnete und flüssige Abwicklung des Luftverkehrs in Deutschland zu sorgen. Während ihrer Ausbildung oder weiteren beruflichen Qualifikation verwenden Fluglotsen den operativen Hilfsmitteln qualitativ mindestens ebenbürtige Simulatoren, um das gesamte Spektrum benötigter Fähigkeiten zu erlernen oder zu trainieren.

Neben der Verwendung in der Aus- und Weiterbildung sind die Simulatoren ein unverzichtbares Werkzeug bei der Planung und Umsetzung von Infrastrukturvorhaben für den Luftverkehr. Außerdem kommen sie bei nahezu allen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der DFS zum Einsatz.

Eine der wichtigsten Komponenten innerhalb des ATM-Simulators ist das sog. Radar (Situation Data Display, SDD). Die dazugehörige Software wurde vor 10 Jahren im Bereich OP/T entwickelt und seitdem vor dem Hintergrund sich stetig erweiternder Anforderungen laufend verbessert und angepasst.

In der Aus- und Weiterbildung wird ein System erwartet, das in Aussehen und Verhalten jeweils den aktuell im operativen Einsatz befindlichen Programmen entspricht. Für den Einsatz in Forschungs- und Erprobungsszenarien gelten diese Einschränkungen nicht. Dort wird ein System benötigt, das sich in Aussehen und Verhalten so weit wie möglich und einfach anpassen lässt.

Diese teilweise sehr unterschiedlichen Anforderungen hinterlassen in der Display-Software natürlich ihre Spuren. Die Wartbarkeit sinkt, und das Hinzufügen neuer Leistungsmerkmale, an die vor fünf oder zehn Jahren nicht zu denken war, wird immer schwieriger. Mit den neu entstehenden Anforderungen, dem Paradigmenwechsel in der Softwareentwicklung und immer leistungsfähigerer Hardware wuchsen Bedarf und Wunsch nach einer grundlegenden Überarbeitung des Radar-Displays. Da sich hieraus ein umfangreiches Projekt ergab, dass Ressourcen für einen längeren Zeitraum binden würde, erschien es sinnvoll, die in Frage kommenden Techniken im Vorfeld durch einen Prototyp zu evaluieren.

Im Vorfeld des hier beschriebenen Projektes wurde bereits eine virtualisierte Version [1] des Newsim-Simulators realisiert mit der untersucht wurde, inwieweit sich dieser als Einzelplatzsystem auf

Standard-PC oder Mac-System einsetzen lässt. Diese Version stellt ein netzwerkbasierendes API (Application Programming Interface) bereit, welches die wichtigsten Funktionen des Simulators (z. B.: Simulationskontrolle, Radar-Daten, Karten etc.) anderen Implementierungen zugänglich macht. Es stellte sich heraus, dass eine für den Einsatz der Anwendung verwendete Technik (Oracles Java Web Start) durch den Hersteller nicht mehr ausreichend unterstützt wurde. Daher wurde ein neuer Lösungsansatz gesucht, der in diesem Artikel beschrieben wird.

Grundlagen

Hauptsächlich getrieben durch die Anforderungen an den Einzelplatzsimulator wurde entschieden, zu untersuchen, ob sich Webbrowser (wie z. B. Firefox, Safari oder Chrome) als Laufzeitumgebung für eine Radaranzeige und einige zusätzliche Funktionen (Simulationskontrolle, Sprachein- und -ausgabe usw.) eignen. Es musste also anhand eines entsprechenden Prototyps herausgefunden werden, ob sich diese Komponenten mit JavaScript, HTML5 und CSS mit vertretbarem Aufwand realisieren lassen. Sollte dies prinzipiell gelingen, sollte die gefundene Lösung noch unter realistischen Bedingungen mit potenziellen Nutzern validiert werden. Das Gesamtprojekt wurde als Abschlussarbeit des berufsbegleitenden Masterstudiums des Autors am Pariser *Conservatoire National des Art et Metiers* eingereicht und am 11. Dezember 2015 im Rahmen eines Kolloquiums erfolgreich abgeschlossen.

Vor Beginn der Implementierung des Prototyps wurden durch den Autor zunächst die zur Umsetzung benötigten naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen recherchiert und die Umsetzbarkeit der darin enthaltenen Ideen analysiert. Dabei konnte auf umfangreiche aus den bisher im Bereich implementierten Radaranzeigen sowie die im Vorläuferprojekt NEWSAS (Newsim-basierter Einzelplatzsimulator) gemachte Erfahrungen zurückgegriffen werden. Ziel dieser Projektphase war es, größere Funktionszusammenhänge des zu schaffenden Prototyps zu definieren und abzugrenzen sowie für die Umsetzung in Frage kommende Techniken zu identifizieren und zu evaluieren. Die Ergebnisse dieser Projektphase lassen sich in Kurzform wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 1: Technologieübersicht

Funktionsblock	Web-Technologie	Ergebnis der Evaluierung
asynchrone, bidirektionale Kommunikation	WebSockets	positiv
Karten bereitstellen und verarbeiten	XHTTP Request, XML Parser	positiv
Kartendarstellung	HTML Canvas	positiv
Benutzerinteraktionen mit Maus und Tastatur	Event-Mechanismen	positiv
Bi-direktionale Audiokommunikation	getUserMedia	positiv, mit Abstrichen

Für alle Blöcke wurde eine funktionierende Technik zu deren Umsetzung gefunden. Aus dem Verlauf des Vorgängerprojekts war klar, dass die einem Endanwender zur Verfügung gestellte Benutzungsschnittstelle zum Simulator nur dann akzeptiert werden würde, wenn sie sich ohne über das normale Maß (Updates, zeitgemäßer Browser) hinausgehende Anpassungen seines Computersystems (Mac oder PC) installieren ließe. Daraus leitete sich eine wichtige Prämisse für die Gesamtarchitektur des Prototyps ab: Der Prototyp setzt nur einen modernen Browser samt Internetverbindung voraus und benötigt keine weiteren Plugins wie Adobe Flash, Java oder Silverlight.

Architektur und Umsetzung

Die Architektur des Prototyps spiegelt die in der vorhergehenden Projektphase gewonnenen Erkenntnisse wider.

Der in Abbildung 1 mit Host/VM gekennzeichnete Teil stammt im Wesentlichen aus dem Vorgängerprojekt und wurde nur um eine WebSocket-Schnittstelle erweitert. WebSockets ermöglichen die asynchrone bidirektionale Kommunikation zwischen HTML/JavaScript-basierten Anwendungen und entsprechenden Servern. Der ebenfalls dargestellte Webserver (HTTPD) hostet die Anwendung und die zu den Übungsszenarien gehörenden XML-basierten Karten.

Der hier beschriebene Prototyp (Abbildung 2) verbirgt sich hinter dem stilisierten Browser-Fenster mit der Bezeichnung Web App. Er ist komplett in JavaScript 5 geschrieben und läuft auf modernen Webbrowsern unter nahezu jedem Betriebssystem.

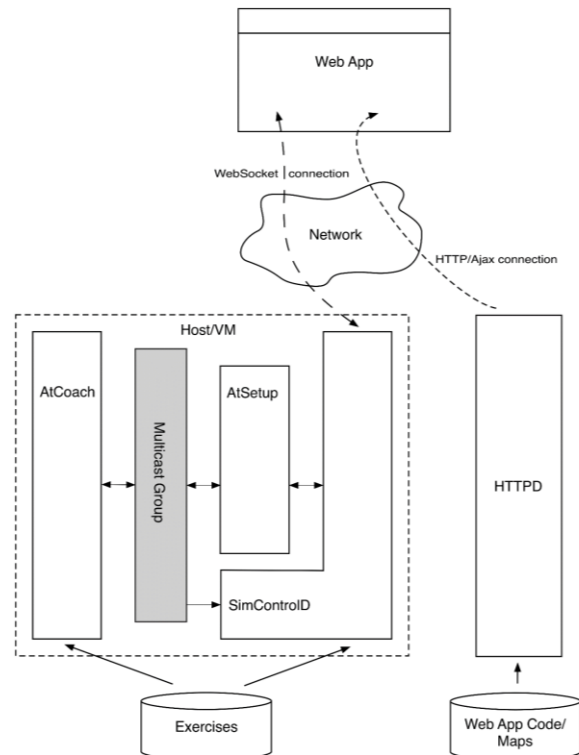


Abbildung 1: Architektur des Gesamtsystems

Um die große Zahl an Funktionen umzusetzen, wurde das objektorientierte Programmierparadigma zur Strukturierung der Anwendung ausgewählt. Zur Qualitätssicherung kamen für einige Teile der Anwendung (z. B. die stereografische Projektion der Kartendarstellung) Unit-Tests zum Einsatz.

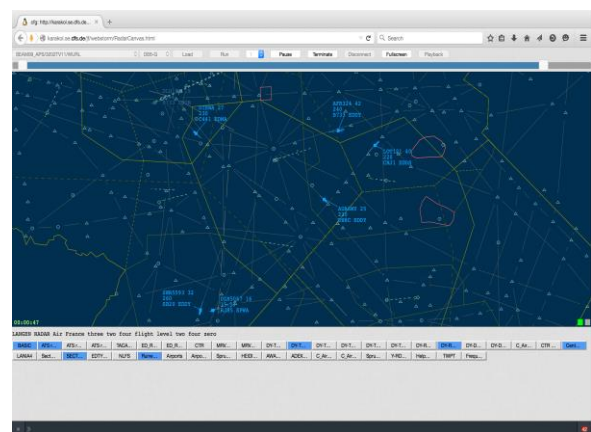


Abbildung 2: Webbasierte Radar-Anzeige

Der Zugriff auf die Hardware des Anwenderrechners (Maus, Tastatur, Audio etc.) erfolgt über entsprechend standardisierte Schnittstellen der Browser. Als unterstützende Technik wurde die Bibliothek JQuery eingesetzt, was sich im Nachhinein aber als nicht unbedingt notwendig erwiesen hat. Die Kommunikation mit dem Server über WebSockets erfolgt über ein JSON-basiertes Protokoll. Die zu übertragenden

Entitäten werden aus beschreibenden XML-Fragmenten mittels eines Codegenerators erzeugt.

Bei beiden als Zielplattform ausgewählten Browsern (Firefox und Chrome) war die Implementierung der Audioschnittstelle während des Projektzeitraums unterschiedlich weit vorangeschritten. Diese Unterschiede konnten jedoch durch geeignete softwaretechnische Maßnahmen abstrahiert werden.

Erprobung und Einsatz

Um die Anwendung mit Testern und Vertretern der Zielgruppe realitätsnah zu validieren, wurde sie auf einer einfachen Cloud-Infrastruktur installiert und dadurch im Intranet der DFS unternehmensweit zugänglich gemacht. Ausbilder der Flugsicherungsakademie erstellten für einen Teilabschnitt der Ausbildung angepasste Übungsszenarien. Damit konnte die Software unter realistischen Bedingungen, u.a. von Trainees und Coaches der Akademie getestet werden.

In einem ersten Schritt wurde die Erreichbarkeit des Systems, das Zusammenspiel aller Komponenten und die Kompatibilität mit der Infrastruktur der DFS erprobt. Daran schlossen sich umfangreiche Tests der Leistungsfähigkeit des serverseitig eingesetzten Spracherkennungssystems an.

Erkannte Probleme wurden behoben und eine überarbeitete Version der Software auf der Cloud-Infrastruktur bereitgestellt. Damit erfolgte eine letzte Validierung mit einer Gruppe Auszubildender. Ihnen wurde die Aufgabe gestellt, die Übungen entsprechend dem Sector-Manual und den im Unterricht erworbenen Kenntnissen durchzuführen. Die Ergebnisse dieses Tests lieferten ein differenziertes Bild bezüglich der Einsetzbarkeit des Gesamtsystems. Die im Rahmen dieses Projekts erstellte Webanwendung hat alle in sie gesetzten Erwartungen erfüllt. Lediglich die Spracherkennungssoftware und die Webbrowser wiesen deutliche Verbesserungspotenziale auf.

Fazit

Am Anfang des Projekts stand die Frage nach der Realisierbarkeit einer Radaranzeige mittels moderner Webtechnologien im Web-Browser. Mit dem implementierten Prototyp konnte diese Fragestellung positiv beantwortet werden. Das Projekt verwendete Techniken, die heute bereits maßgeblich die Entwicklung des weitaus größten Teils des Internets bestimmen.

Die Projektbearbeitung konnte von der fortlaufenden Weiterentwicklung von Webtechnologien und Plattformen profitieren. Die Leistungsfähigkeit der Browser

ist gestiegen und die Anzahl der Fehler hat sich verringert; neue Schnittstellen wurden implementiert; ein völlig neuer Browser (Microsoft Edge) erschien auf dem Markt. Dennoch gelten weiterhin die grundlegenden Standardisierungen des World Wide Web Consortiums (W3C). Beobachtungen der Entwicklungen bei Webbrowsern lassen erwarten, dass die hier vorgestellte Anwendung auch auf den zukünftigen Webbrowsern der nächsten 10 Jahre immer noch lauffähig sein wird. Auch - oder gerade - deswegen spricht vieles dafür, dass Browser und die damit verbundenen Technologien für das strukturell eher konservative Flugsicherungsumfeld eine geeignete Anwendungsplattform darstellen.

Referenzen:

- [1] Jan Fiegert, Ralph Kar, Peter Krauspe (2012). NEWSIM-Weiterentwicklung - Vom großen Realzeitsimulator zum „Training in the Cloud“. DFS: Innovation im Fokus 1/12, S. 35-37, Langen: Deutsche Flugsicherung.

Abkürzungen

API	Application Programming Interface
CSS	Cascading Style Sheets
HTML	Hypertext Markup Language
HTTPD	Hypertext Transfer Protocol Daemon
JSON	JavaScript Object Notation
NEWSAS	Newsim Stand Alone Solution
SDD	Situation Data Display
W3C	World Wide Web Consortium
XHTTP	Extended Hypertext Transfer Protocol
XML	Extensible Markup Language

Advanced Approach Light System – Ein zusätzliches visuelles Assistenzsystem bei kritischen Wetterbedingungen

Dr. Ferdinand Behrend (TU Berlin)

Einleitung

In der zivilen Luftfahrt stellt das System Flughafen hinsichtlich Kapazität und Verkehrsfluss oftmals den limitierenden Faktor dar.

In Bezug auf den Landeanflug können schlechte Sichtbedingungen bei unzureichender bodenseitiger Ausrüstung mit Navigationseinrichtungen für Einschränkungen in der Aufrechterhaltung des bestehenden Verkehrsflusses sorgen

Das konventionelle Instrumentenlandesystem (ILS) besteht aus einer Vielzahl an technischer Komponenten, die hohen Aufwand hinsichtlich Wartung und Betrieb verursachen. Kleine Flughäfen sind oft nur teilweise oder gar nicht mit den entsprechenden Navigationseinrichtungen ausgerüstet, so dass der Flugbetrieb ab bestimmten Sichtbedingungen vollständig eingestellt werden muss.

Neue satellitengestützte Anflugverfahren bieten die Möglichkeit, den Flugbetrieb auch bei schlechten Sichtbedingungen aufrechtzuerhalten, unabhängig von der bisher notwendigen Bodeninfrastruktur konventioneller Anflugverfahren. Diese bieten mittlerweile ebenso eine vertikale Flugführungskomponente, basierend sowohl auf der barometrischen Höhenmessung als auch einem aufgewerteten Satellitensignal. Allerdings besteht mit der Verwendung entsprechender Anflugverfahren auch eine neue mögliche Fehlercharakteristik des vertikalen Flugführungssignals.

Beim auf elektromagnetischen Funkwellen basierenden Instrumentenlandesystem ist eine mögliche Störung der vertikalen Flugführungskomponente winkelförmig. Dementsprechend wird die absolute Ablage eines anfliegenden Luftfahrzeugs (LFZ) zum Sollanflugweg immer kleiner, je weiter es sich der Landebahnschwelle nähert. Bei satellitengestützten Anflügen tritt ein Fehler in der Positionsbestimmung grundsätzlich als absolute Größe auf. Somit kann dieser auch kurz vor der Landebahnschwelle noch entsprechend große Werte annehmen (vgl. Abbildung 1).

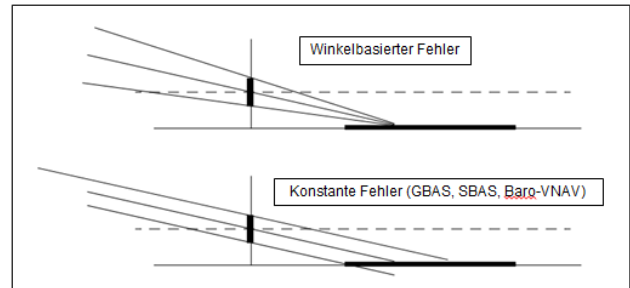


Abbildung 1: Unterschied konstanter - winkelbasierter Fehler

Bei niedrigen Sichtbedingungen nahe den Minima eines Präzisionsanfluges kann die Ablage vom Sollanflugweg oft erst bei Erreichen der Entscheidungshöhe und dem damit verbundenen visuellen Kontakt zu entsprechenden Bodenmerkmalen erkannt werden. Je größer die Ablage zum Sollanflugweg, umso entscheidender ist das unverzügliche Einleiten des Fehlanflugs, um ein Verlassen der Hindernisfreibereiche zu verhindern.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die aktuell vorhandenen visuellen Merkmale der Anflugbefeuerung nicht ausreichend sein können, vertikale Ablagen entsprechend der neuen Fehlercharakteristik bei Erreichen der Entscheidungshöhe einzuschätzen und rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen zu treffen [1][2][3].

Das hier vorgestellte *Advanced Approach Light System* soll die Cockpitbesatzung als zusätzliches visuelles Merkmal bei kritischen Wetterbedingungen unterstützen und so zur Verbesserung des Situationsbewusstseins hinsichtlich konstanter vertikaler Fehler beitragen.

Anflugsysteme

Die meisten Flugunfälle, wie jüngste Beispiele belegen, ereignen sich während des Anflugs eines LFZ auf die Start- und Landebahn eines Flughafens. Obwohl der Endanflug nur 4 % der gesamten Flugzeit ausmacht, passieren 48 % aller Totalverluste bei Flugunfällen während dieser Flugphase [4]. Der Anflug stellt innerhalb der verschiedenen Flugphasen eines Flugereignisses hinsichtlich der Aerodynamik und Hindernisfreiheit die sensibelste Phase dar. Während des Anflugs bewegt sich das LFZ mit niedriger Geschwindigkeit nahe am Strömungsabriss in Richtung Boden, um dort zur Landung auf einer verhältnismäßig

kleinen Fläche aufzusetzen und zum Stehen zu kommen.

Bei guten Sichtbedingungen und frühem visuellen Kontakt zur Landebahn untersteht dieses Manöver bereits einem hohen Schwierigkeitsgrad (Sichtanflug), welcher jedoch unter schlechten Wetterbedingungen erheblich ansteigt (Instrumentenanflug). Niedrige Sichtweiten und eine tiefe Wolkenuntergrenze stellen hohe Anforderungen an die Präzision der verwendeten Navigationsausrüstung dar. Fehlerhafte Funktion kann eine Ablage zum Sollarflug zur Folge haben, ohne dass ein entsprechendes Situationsbewusstsein hinsichtlich der Ablage seitens der Cockpitbesatzung vorhanden ist. Der *Controlled Flight into Terrain* oder *Abnormal Runway Contact* sind eine häufige Unfallursache in der zivilen Luftfahrt [4].

Grundsätzlich werden Instrumenten-anflüge nach ICAO Doc 8168 PANS-OPS in Kategorien entsprechend der vorhandenen Flugführung unterteilt – den Präzisions- und Nicht-Präzisionsanflügen [5].

Während eines *Precision Approach* (PA) stehen dem Luftfahrzeugführer eine laterale und eine vertikale Flugführungskomponente zur Verfügung. Beim *Non-Precision-Approach* (NPA) erhält der Luftfahrzeugführer nur eine laterale Flugführungskomponente. Dementsprechend liegen die Anforderungen hinsichtlich der akzeptablen Wetterbedingungen (Sichtweite, Wolkenuntergrenze) bei einem NPA wesentlich höher als bei einem PA – auf Grund der niedrigeren Präzision der Flugführung muss dem Piloten mehr Spielraum zur manuellen Korrektur an Hand visueller Referenz zur Verfügung gestellt werden.

Typische NPA sind auf konventionellen Funknavigationshilfen basierende VOR/DME- oder NDB/DME-Anflüge. Aber auch ein reiner satellitengestützter GNSS-Approach entspricht auf Grund nicht ausreichender Präzision der Positionsbestimmung der Kategorie NPA. Das weltweit am häufigsten eingesetzte Landesystem ist das Instrumentenlandesystem (ILS), welches zur Kategorie der PA gehört. Hierbei erfolgt die Flugführung mit Hilfe des *Localizers* (lateral) und des *Glideslope* (vertikal). Ein weiteres Präzisionsanflugsystem ist das neue *Ground Based Augmentation System* (GBAS). Hierbei wird die Positionsbestimmung mit Hilfe von Satellitennavigation durch ein Korrektursignal entsprechend aufgewertet, um den hohen Anforderungen eines PA zu entsprechen. Das Korrektursignal wird durch eine exakt vermessene Bodenstation erzeugt, welche hierfür die Satellitenposition mit der tatsächlichen Eigenposition vergleicht (Prinzip Differential-GNSS).

Im Zuge der Einführung der *Performanced Based Navigation* wurde seitens der ICAO eine weitere

Anflugkategorie eingeführt, das *Approach Procedure with Vertical Guidance* (APV). Hierbei handelt es sich um Anflugverfahren, welche basierend auf entsprechenden Navigationshilfen sowohl eine laterale als auch eine vertikale Führungsinformation zur Verfügung stellen. Hinsichtlich der Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität erfüllen sie jedoch noch nicht die hohen Anforderungen eines PA.

Derzeit basieren APV-Anflüge ausschließlich auf Satellitennavigation, kombiniert mit zusätzlichen bordeigenen Hilfsmitteln zur Gewährleistung einer hinreichend exakten Vertikalführung – mit dem barometrischen Höhenmesser (Baro VNav) oder der *Satellite Based Augmentation* (SBAS). Hier wird das Korrektursignal zur Positionsbestimmung mit Hilfe des GNSS im Gegensatz zum GBAS über ein weiteres Satellitensystem (geostationär) übertragen. Je nach Leistungsfähigkeit der entsprechenden Navigationskomponenten zum Einhalten des Sollarflugweges sind die geforderten Mindestwerte hinsichtlich Wolkenuntergrenze und Sichtweite ähnlich denen eines PA.

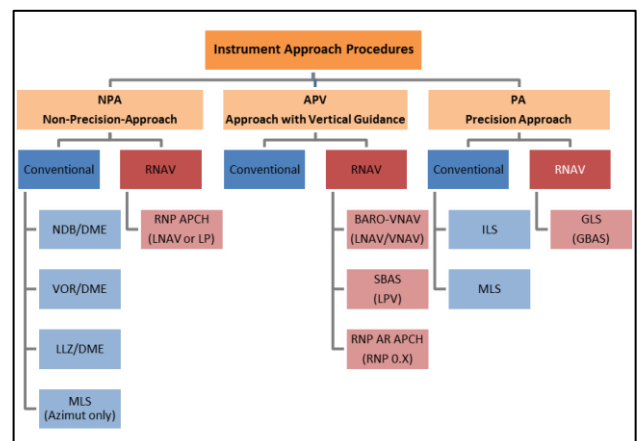


Abbildung 2: Instrumentenanflugverfahren

Vertikale Fehler

Vertikale Abweichungen vom Sollarflugweg stellen während eines Instrumentenanflugs eine besondere Gefahr in der Luftfahrt dar. Bei Instrumentenflugbedingungen navigiert der Luftfahrzeugführer ausschließlich mit Hilfe der ihm zur Verfügung stehenden Flugführungsinformation auf Basis entsprechender technischer Systeme. Bei Ungenauigkeiten der Flugführungsinformation besteht erst bei visuellen Kontakt mit zur Verfügung stehenden Bodenmerkmalen (Anflugbefeuerung, Landebahn) eine Möglichkeit des Erkennens der Fehler und einer Korrektur der Anflugtrajektorie bzw. Abbruchs des Anfluges.

Entsprechend der veröffentlichten Minima der jeweiligen Anflüge hinsichtlich Sichtweite und Wolkenuntergrenze kann sich das LFZ bereits sehr tief

befinden – bis zu 200ft über Grund (ca. 65m) bei einem APV, bei einem PA sogar tiefer (CAT I/II). Ein Fehler der vertikalen Flugführungsinformation kann bei dieser Bodennähe schnell zu einem Unterschreiten der Hindernisfreiflächen und einer möglichen Kollision mit dem Boden führen.

Durch die Einführung der genannten satellitengestützten Anflüge (GBAS, SBAS APV, Baro APV) besteht allerdings auch die Möglichkeit einer neuen Fehlercharakteristik des vertikalen Flugführungssignals. Das auf analoger Funktechnologie basierende ILS weist technisch bedingt nur winkelbasierte (*angular*) Fehler hinsichtlich der Genauigkeit auf. Je mehr sich das LFZ der Landebahnschwelle nähert, umso geringer wird die absolute Auswirkung auf die Ablage zum Soll-anflugweg. Satellitenbasierte oder barometrische vertikale Flugführung können jedoch auf Grund verschiedener Faktoren konstante vertikale Fehler aufweisen. Diese können bisher technisch bedingt dem Luftfahrzeugführer nicht dargestellt werden.

Versuche mit GLS Anflügen in zertifizierten Full-Flight-Simulatoren im Rahmen mehrerer Projekte in Zusammenarbeit mit der EUROCONTROL und DFS haben gezeigt, dass vergleichsweise große vertikale Fehler (-10m bis -35m) im Anflug mit Hilfe der aktuell vorhandenen visuellen Hilfsmittel bei Wetterbedingungen nahe der Minima nicht oder zu spät erkannt werden [1] [2].

Die Piloten konnten in der ihnen zur Verfügung stehenden Zeit nach Passieren der Wolkenuntergrenze ihre tatsächliche relative Position zur Landebahnschwelle oftmals nur unzureichend identifizieren und setzten teilweise vor der Landebahnschwelle auf. Aktuelle Befeuerungssysteme geben nur unzureichend Aufschluss über mögliche vertikale Abweichungen vom Idealanflugweg [vgl. Abbildung 3]. Grundsätzlich ist für die visuelle Kontrolle der Anflugtrajektorie das PAPI/VASI (Precision Approach Path Indicator / Visual Approach Slope Indicator) vorgesehen, welches mit Hilfe von Blickwinkelabhängigen Lampensystemen den idealen vertikalen Anflugweg markieren. Dieses kann bei niedrigen Sichtbedingungen nicht verwendet werden, da es auf Grund seiner Positionierung in unmittelbarer Nähe zur Aufsetzzone erst kurz vor dem Überfliegen der Landebahnschwelle sichtbar wird.

Die Ergebnisse und Annahmen der Versuchsreihen wurden durch weitere Versuchsreihen seitens der FAA noch einmal bestätigt [1][2][3].



Abbildung 3: Visuelle Merkmale bei Erreichen der CAT I Entscheidungshöhe [eigene Abbildung]

Advanced Approach Light System

Die grundsätzliche Funktionsweise des *Advanced Approach Light System* (AALS) basiert auf der Tatsache, dass das LFZ bei einem konstanten vertikalen Fehler die jeweilige Entscheidungshöhe an einer veränderten lateralen Position hinsichtlich der Landebahnschwelle erreicht. Unterliegt das vertikale Flugführungssignal einem negativen Fehler, so erreicht das LFZ die Entscheidungshöhe auf Grund der entsprechenden Geometrie weiter entfernt von der Landebahnschwelle entlang der Anfluggrundlinie.

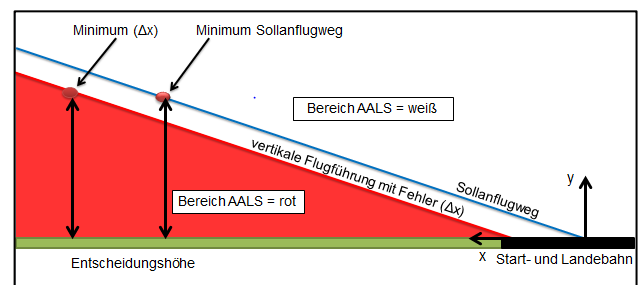


Abbildung 4: Grundprinzip des AALS

Mehrere hintereinander angeordnete Lichtquellen kennzeichnen nun je nach Position des Betrachters im Anflug einen bestimmten Bereich entlang des Soll-anflugwegs mit roten oder mit weißen Licht. Im roten Bereich hat das LFZ die Entscheidungshöhe zu weit entfernt von der Landebahnschwelle erreicht und ist folglich tiefer als der geforderte Soll-anflugweg. Die Grenze zwischen weiß und rot wird durch Filter vor den Lichtquellen erzeugt – ähnlich dem bereits eingesetzten PAPI/VASI. Durch Verschiebung des rot/weiß-Bereichs entlang der Anfluggrundlinie durch

Veränderung der Lampenposition und des Abstrahlwinkels kann das AALS hinsichtlich der Entscheidungshöhe und einer fest definierten Fehlertoleranz beliebig ausgerichtet werden.

Befindet sich das LFZ bei Erreichen der Entscheidungshöhe auf Grund eines vertikalen Fehlers zu weit vor der Landebahnschwelle, folglich also unterhalb des Sollanflugwegs, erscheinen alle Lichtquellen rot. Befindet sich das LFZ bei Erreichen der Entscheidungshöhe innerhalb des akzeptablen Bereichs in der entsprechenden Entfernung zur Landebahnschwelle, erscheinen alle Lichtquellen weiß. Das gesamte System ist somit unabhängig von der zur Navigation im Anflug verwendeten Technologie und entsprechend universell einsetzbar.

Eine endgültige Festlegung hinsichtlich der genauen Anordnung und der Anzahl der einzelnen Lampe ist in dem aktuellen Konzeptstadium noch nicht erfolgt.

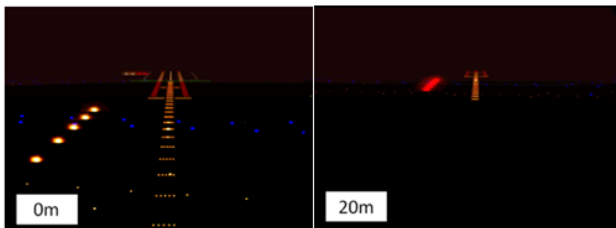


Abbildung 5: Verschiedene Anzeigooptionen des AALS

Das AALS ist als zusätzliches visuelles Hilfsmittel im Endanflug konzipiert, um den Piloten bei minimalen Sichtbedingungen in der Entscheidung zum Fortsetzen des Anflugs zu unterstützen. Durch eine eindeutige Anzeige von roten bzw. weißen Befeuerungselementen soll es bei der zeitkritischen Entscheidung in Bodennähe eine eindeutige Rückmeldung bezüglich der Vertikalposition geben. Das unbewusste Verlassen der Hindernisfreifläche (*Obstacle Free Zone OFZ*) durch das weitere Folgen einer fehlerhaften vertikalen Flugführung soll mit Verwendung des AALS vermieden werden.

Validierung des AALS

Ein Prototyp des AALS wurde in eine Simulationsumgebung implementiert und mithilfe zweier unabhängiger Versuchsreihen hinsichtlich entsprechend definierter Kriterien validiert. Dabei sollte neben der grundsätzlichen Funktionalität auch die operative Einsetzbarkeit in den bestehenden Ablauf der Handlungsroutinen im Cockpit untersucht werden.

Versuchsumgebung

Beide Versuchsreihen wurden im Airbus A330-300 Festsitz-Simulator (*Fix-Based Simulator*) des Fachgebietes Flugführung und Luftverkehr der Technischen Universität Berlin durchgeführt. Der *Advanced Aeronautical Research and Education Simulator* (AARES) verwendet eine zertifizierte Airbus A330-300 Simulation der Firma *Canadian Aviation Electronics LTD* (CAE).

Die Darstellung der Außensicht im Sichtsystem erfolgt mithilfe der professionellen Flugsimulations-Software Prepar3D von Lockheed Martin. Der hohe Detaillierungsgrad von Prepar3D ermöglicht eine realitätsgetreue Darstellung der visuellen Merkmale im Anflug (z.B. Befeuerungselemente) sowie Wetterbedingungen mit entsprechenden Sichtweiten. Darüber hinaus bietet Prepar3D einen Editor zur Erstellung eigener Flughafenumgebungen, womit verschiedenen Versionen des AALS hinsichtlich Entscheidungshöhe und akzeptierten Fehler modelliert werden konnten.

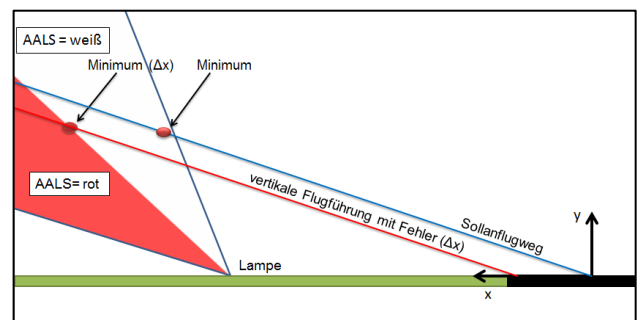


Abbildung 6: Positionierung und Ausrichtung der AALS Befeuerungselemente

Versuchsablauf

Beide Versuchsreihen wurden zwecks Vergleichbarkeit standardisiert vorbereitet und gleichermaßen durchgeführt. Die Versuchsreihen unterschieden sich in den gewählten Wetterbedingungen hinsichtlich Sichtweite und Wolkenuntergrenze und der davon abhängig gewählten Entscheidungshöhe.

Versuchsreihe 1 wurde mit einer Sichtweite von 550m und einer Wolkenuntergrenze von 230ft durchgeführt,

welches den Minima eines PA nach CAT I mit einer Entscheidungshöhe von 200ft über Grund entspricht. Diese minimalen Wetterbedingungen sind bereits für GBAS- und einige SBAS-Anflüge (LPV 200) entsprechend zugelassen.

Versuchsreihe 2 wurde mit einer Sichtweite von 300m und einer Wolkenuntergrenze von 130ft durchgeführt, welches den Minima eines PA nach CAT II mit einer Entscheidungshöhe von 100ft über Grund entspricht. Dem gilt anzumerken, dass bisherige Verfahren (Baro VNav, SBAS, GBAS) jedoch aktuell noch keine Zulassung für einen Anflug mit CAT II Minima besitzen. Zur Validierung der Funktionalität des AALS wurde dieses Szenario jedoch mit aufgenommen. Allerdings befindet sich GBAS bereits kurz vor der Zulassung von CAT II/III [6].

Beide Versuchsreihen wurden mit identischen vertikalen Fehlern durchgeführt – jeweils ein Anflug ohne, mit -10 m, -20 m und -28 m vertikalen Fehler zum Sollanflugweg. Der Simulationsprozess wurde hinsichtlich des Flugführungssignals entsprechend verändert, so dass vor jedem Anflug der vertikale Fehler gewählt werden konnte. Die Probanden hatten darüber in ihren Anzeigen (Primary Flight Display, PFD) keinerlei Hinweis, so dass der Fehler erst beim Passieren der Wolkenuntergrenze identifizierbar wurde.

Das AALS war so hinsichtlich der Fehlertoleranz eingestellt worden, dass es bei 0/-10 m vertikaler Ablage zum Sollanflugweg weiß (akzeptabel) und -20/-28 m rot (inakzeptabel) anzeigt.

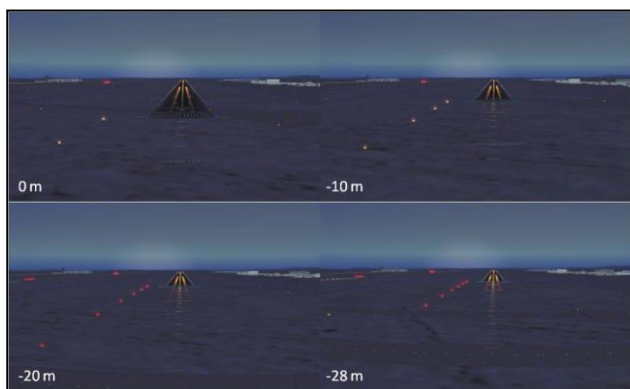


Abbildung 7: Anzeige AALS

Die Versuchsreihen wurden von einem Versuchsleiter und einem entsprechend instruierter PNF als Unterstützung des jeweiligen Probanden im Cockpit durchgeführt. Insgesamt wurden pro Versuchsreihe 28 Versuche durchgeführt – 14 Versuche mit AALS und 14 Versuche ohne AALS als Kontrollgruppe. Jeder Versuch beinhaltete alle vier Szenarien (0m, -10m, -20m, -28m). Insgesamt wurden 56 Versuche mit 56 unterschiedlichen Probanden durchgeführt – alles

Piloten mit einer Musterzulassung auf einem Airbus LFZ (A320, A330, A340, A380).

Während der Anflüge wurde eine umfassende Aufzeichnung relevanter Luftfahrzeugparameter durchgeführt, sowie während und nach den Versuchen entsprechende Fragebögen zur Bewertung des Systems ausgegeben. In der Vorbereitung der jeweiligen Versuche wurden die Probanden nicht über die möglichen vertikalen Fehler informiert. Den Probanden mit AALS wurde jeweils nur die grundsätzliche Funktionsweise und Anzeigenlogik erläutert.

Alle Versuche wurden zur besseren Vergleichbarkeit vollständig mit dem Autopiloten geflogen. Der Proband musste nur mit Hilfe der visuellen Merkmale nach dem Passieren der Wolkenuntergrenze eine Entscheidung über das Fortsetzen des Anfluges durchführen.

Versuchsergebnisse

Mit Hilfe der aufgezeichneten Parameter wurde eine ausführliche Auswertung der Versuchsreihen durchgeführt. Anhand folgender Kriterien wurden die Anflüge innerhalb einer Versuchsreihe miteinander verglichen:

- Fehlanflug eingeleitet ja/nein
- Zeit bis zum Einleiten des Fehlanfluges nach Passieren der Entscheidungshöhe
- Obstacle Free Zone verlassen ja/nein

Zur exakten Bestimmung der Reaktionszeit bis zum Einleiten eines Fehlanfluges nach Passieren der Entscheidungshöhe wurde die Schubhebelstellung gemessen. Das Verlassen der OFZ konnte mit den aufgezeichneten Positionsdaten des LFZ bestimmt werden.

Die folgenden Tabellen stellen die erzielten Ergebnisse der Versuchsreihe 1 mit CAT I Entscheidungshöhe dar.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik Versuchsreihe 1

vertikaler Fehler	Fehlanflug eingeleitet			
	mit AALS		ohne AALS	
	ja	nein	ja	nein
0 m	0	14	0	14
-10 m	8	6	10	4
-20 m	14	0	12	2
-28 m	14	0	12	2

vertikaler Fehler	OFZ verlassen			
	mit AALS		ohne AALS	
	ja	nein	ja	nein
0 m	0	14	0	14
-10 m	0	14	0	14
-20 m	0	14	0	14
-28 m	0	14	3	11

Folgende Abbildung zeigt die Boxplots hinsichtlich der Verteilung der Reaktionszeiten bei einem vertikalen Fehler von -10m/-20m/-28m, sofern ein Fehlanflug eingeleitet wurde. Nicht abgebildet sind die Anflüge, bei denen kein Fehlanflug eingeleitet wurde – auch wenn dieser auf Grund des vertikalen Fehlers erfolgen hätte müssen.

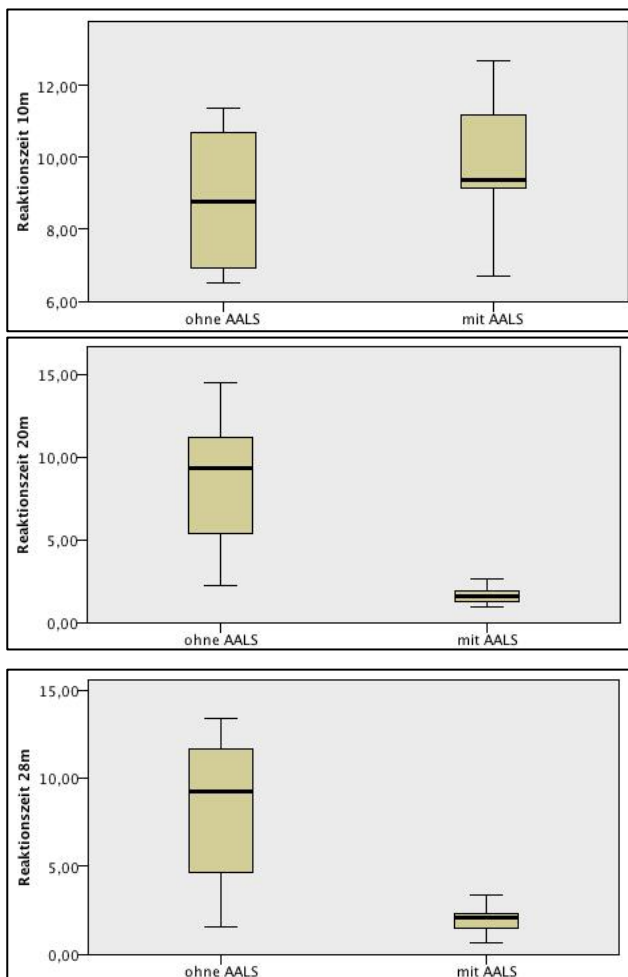


Abbildung 8: Reaktionszeiten Versuchsreihe 1

Folgende Abbildungen zeigen das vertikale Flugprofil aller Anflüge der Versuchsreihe 1 bei einem vertikalen Fehler von -28m. Die rote gestrichelte Linie stellt die Grenze der OFZ dar. Unterhalb der Grenze ist keine Hindernisfreiheit mehr garantiert.

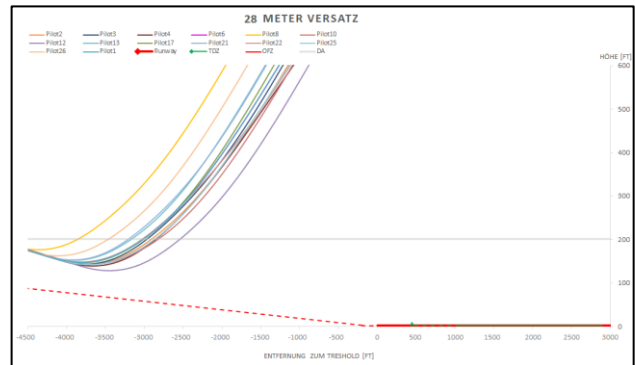


Abbildung 9: -28m vertikaler Fehler, mit AALS

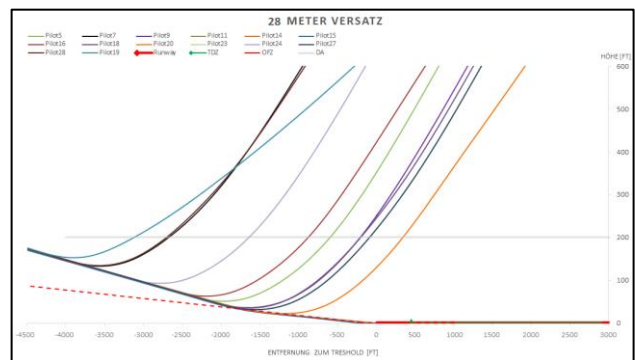


Abbildung 10: -28m vertikaler Fehler, ohne AALS

Versuchsreihe 2 mit einer CAT II Entscheidungshöhe von 100 ft über Grund zeigt nahezu identische Ergebnisse wie Versuchsreihe 1:

Tabelle 2: Deskriptive Statistik Versuchsreihe 2

vertikaler Fehler	Fehlanflug eingeleitet			
	mit AALS		ohne AALS	
	ja	nein	ja	nein
0 m	0	14	0	14
-10 m	0	14	6	8
-20 m	14	0	11	3
-28 m	14	0	13	1

vertikaler Fehler	OFZ verlassen			
	mit AALS		ohne AALS	
	ja	nein	ja	nein
0 m	0	14	0	14
-10 m	0	14	0	14
-20 m	0	14	1	13
-28 m	0	14	5	9

Da bei Versuchsreihe 2 alle Versuche mit -10m vertikalem Fehler mit AALS der Anzeige entsprechend zur Landung gebracht wurden, bestehen hier keine Boxplots der Reaktionszeit zum Vergleich mit der Kontrollgruppe.

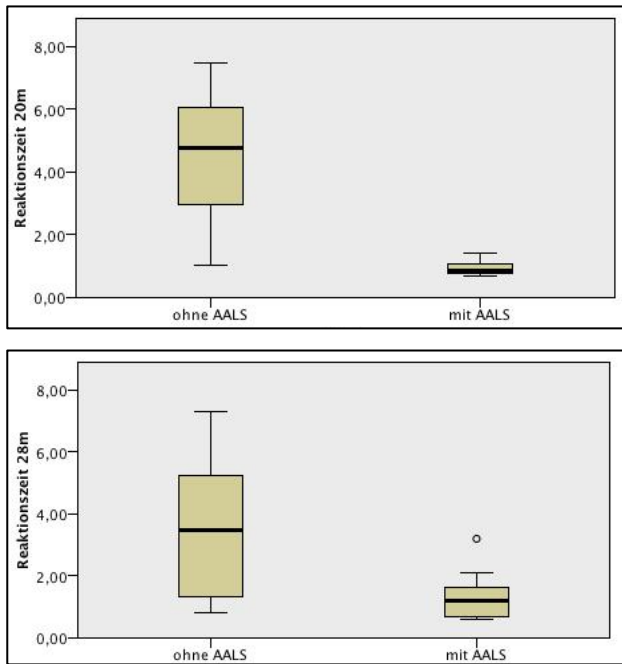


Abbildung 11: Reaktionszeiten Versuchsreihe 2

Folgende Abbildungen zeigen das vertikale Flugprofil aller Anflüge der Versuchsreihe 2 bei einem vertikalen Fehler von -28m. Die rote gestrichelte Linie stellt wieder die Grenze der OFZ dar. Bei fünf Anflügen ohne AALS wurde die OFZ verlassen (vgl. Abbildung 13)

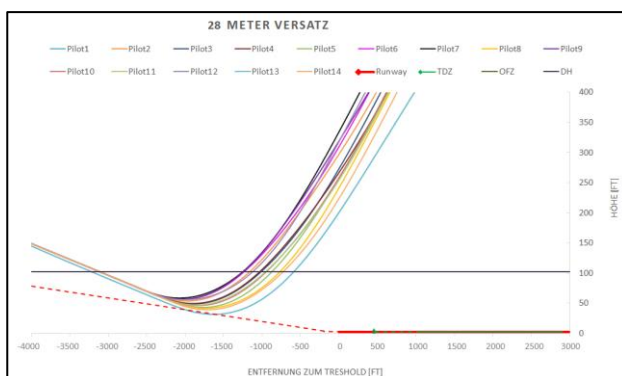


Abbildung 12: -28m vertikaler Fehler, mit AALS

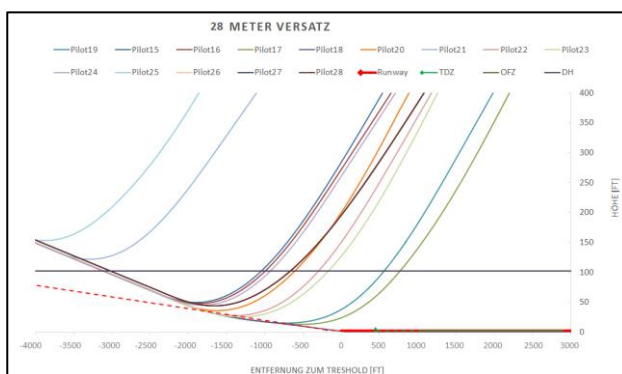


Abbildung 13: -28m vertikaler Fehler, ohne AALS

Auswertung der Versuchsreihen

Mithilfe entsprechender Bewertungsmethoden (deskriptive Statistik, Hypothesentest, subjektive Probandenbewertung) wurde das Konzept des AALS in zwei unabhängigen Versuchsreihen hinsichtlich der Funktionalität und operativen Verwendung validiert. Insgesamt 56 verschiedene Probanden flogen dazu 224 Anflüge mit oder ohne das AALS.

Das AALS konnte in der Versuchsreihe CAT I hinsichtlich der gestellten Anforderungen eindeutig überzeugen. Die Ergebnisse eines durchgeführten Signifikanztests (Hypothesentest) zeigen, dass die Probanden mithilfe des AALS bei großen Fehlern (-20/-28 m) der vertikalen Flugführungs-komponente wesentlich schneller und einheitlicher die Entscheidung zum Fehlanflug treffen konnten.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der vorangegangenen Forschungsvorhaben (EUROCONTROL, DFS, FAA) hinsichtlich des fehlenden Situationsbewusstseins für konstante, vertikale Fehler durch die Versuchsgruppe ohne AALS vollständig bestätigt. Die Probanden waren nicht in der Lage, mithilfe der bestehenden visuellen Merkmale die relative Position bezüglich des vertikalen Sollanflugweges zu erkennen und den Fehlanflug entsprechend rechtzeitig einzuleiten. Eine Vielzahl der Anflüge bewegte sich nahe der Grenze der OFZ oder unterschritt diese sogar. Die ausgeprägte Varianz der Ergebnisse während aller Szenarien ohne AALS deutet auf eine große Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung auf Basis der aktuell vorhandenen visuellen Hilfsmittel hin.

Bei einem vertikalen Fehler von -10m innerhalb der Versuchsreihe CAT I brachte der Einsatz des AALS jedoch keine Verbesserung. Trotz entsprechender Vorbereitung der Probanden auf die Funktionsweise des AALS wurde die Hälfte der Anflüge relativ spät abgebrochen. Auf Grund der weißen Anzeige des AALS hätte allerdings bei keinem der Anflüge ein Fehlanflug eingeleitet werden müssen.

Die Versuchsteilnehmer gaben in den durchgeführten Nachbesprechungen an, dass die irreführende Anzeige des bei ca. 100ft über Grund in Sicht kommenden PAPI dazu geführt hätte, den Anflug abubrechen. Die Lampen des PAPI zeigten während dieses Szenarios drei rote Lampen und eine weiße Lampe an, was eine zu tiefe Position bezüglich des Sollanflugweges signalisiert. Demzufolge wurde in der folgenden Versuchsreihe 2 noch eindringlicher auf die Funktionsweise und Verlässlichkeit des AALS bei der Einweisung der Probanden hingewiesen.

Diese Erweiterung der Einweisung in der Nutzung des AALS zeigt sich in den Ergebnissen der Versuchsreihe

2. Bei allen Szenarien mit konstanten vertikalen Fehlern wurde das AALS von den Luftfahrzeugführern korrekt interpretiert und umgesetzt. Auch bei dem kleinen vertikalen Fehler von -10m wurde das AALS den Einweisungen entsprechend angewendet. Alle Anflüge wurden aufgrund der weißen Anzeige des AALS zu einer Landung geführt. Dem AALS wurde hierbei von den Luftfahrzeugführern der Vorzug hinsichtlich der Entscheidungsfindung gegeben.

Die Probanden der Versuchsgruppe ohne AALS konnten bereits bei dem Szenario mit einem vertikalen Fehler von -10m keine klare Entscheidung beim Erreichen der Entscheidungshöhe zum Fortsetzen des Anflugs treffen. Eine breite Streuung der Ergebnisse weist auf eine Unsicherheit hin, mithilfe bestehender visueller Merkmale die relative Position hinsichtlich des vertikalen Sollanflugwegs zu erkennen. Dies bestätigt so auch wieder die Ergebnisse der vorangegangenen Versuchsreihe CAT I.

Beide Versuchsreihen können die aufgestellte Hypothese bestätigen, dass es durch den Einsatz des AALS zu einer Verbesserung des Situationsbewusstseins hinsichtlich der Entscheidungsfindung beim Erreichen der jeweiligen Entscheidungshöhe führt. Es wird in beiden Fällen sowohl basierend auf der deskriptiven Statistik als auch durch den Signifikanztest ein eindeutiges Ergebnis bei großen vertikalen Fehlern von -20m und -28m erzielt. Bei einer Fehlergröße von -10m konnte das System nur in der Versuchsreihe CAT II überzeugen. Allerdings kann dies auf die nicht ausreichende Einweisung hinsichtlich möglicher Diskrepanz zum bestehenden PAPI zurückzuführen sein. Nach Anpassung der Einweisung wurde das AALS in der zweiten Versuchsreihe einwandfrei auch bei einem kleinen Fehler von -10m umgesetzt.

Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte Systemkonzept AALS stellt eine zusätzliche visuelle Hilfe als Ergänzung der bestehenden Befeuerungssysteme am Flughafen dar. Es basiert auf blickwinkelabhängigen Lampensystemen, ähnlich dem bestehenden VASI oder PAPI. Damit ist es bordunabhängig und nicht beeinflusst von Fehlern der zum Anflug verwendeten Technologie zur Flugführung (Temperatur, Ionosphäre etc.). Die Lampen sind so positioniert, dass sie bei Erreichen der Entscheidungshöhe auch bei Sichtbedingungen an der Grenze der akzeptierten Minima für den Luftfahrzeugführer zu sehen.

Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen zeigen eine erhebliche Verbesserung hinsichtlich der

Entscheidungsfindung bei Erreichen der Entscheidungshöhe. Durch die einfache Gestaltung der Anzeige des Systems (rot/weiß) konnten die Probanden eindeutig und unmittelbar eine Entscheidung treffen. Gerade bei niedriger Höhe und wenig verbleibender Flugzeit am jeweiligen Minimum ist dies von entscheidendem Vorteil. Die Probanden ohne AALS konnten mithilfe der bestehenden visuellen Merkmale nur zögerlich eine Entscheidung treffen. Oftmals wurde der Anflug zuerst fortgesetzt, bis er dann auf Grund der sichtbar werdenden, zu weit entfernten Landebahnschwelle abgebrochen wurde. Eine Annäherung zur OFZ bzw. ein Unterschreiten dieser war die Folge.

Somit konnte das AALS erheblich das Situationsbewusstsein der Luftfahrzeugführer für das Treffen der Entscheidung zum Fortsetzen des Anflugs bei Erreichen der Entscheidungshöhe verbessern. Durch die einfache Integration in die bestehenden Handlungsroutrinen der Verkehrspiloten konnte es ohne aufwendiges Training sofort nahezu fehlerfrei angewendet werden.

Das hier vorgestellte AALS befindet sich bisher jedoch in einem Konzeptstadium. Die Möglichkeiten bei der Integration in das Sichtsystem des Simulators waren bisher hinsichtlich Gestaltung und Aufbau der einzelnen Lampensysteme begrenzt.

Filtersysteme zur gezielteren Begrenzung der jeweiligen Abstrahlungsbereiche sowie eine mögliche Integration in bereits bestehende Befeuerungssysteme könnten die operationelle Nutzung noch verbessern. Eine weitere Validierung in einer entsprechenden Full-Flight-Simulator Umgebung könnte hierüber weiteren Aufschluss geben.

Referenzen:

- [1] David De Smedt: GBAS CAT I Precision Approach Pilot-in-the-Loop Simulation Report", EUROCONTROL, September 2011
- [2] Dr. Ferdinand Behrend: "Versuchsdokumentation zu An- und Abflugprozeduren mit RNP AR und GBAS", HETEREX, Juli 2012
- [3] Federal Aviation Administration: "Investigation of the Impact of Undetected Global Navigation Satellite System Navigation Glidepath Bias in the Boeing B737 and Airbus A330 Final Report", 2013
- [4] Boeing: "Statistical summary of commercial jet airplane accidents – 2014", Seattle, 2015

- [5] ICAO: “Doc 8168 – Procedures for Air Navigation Services, Volume 1 Flight Procedures”, Fifth edition 2006
- [6] Pierre Ladoux, DSNA France: GBAS implementation status: international context and situation in France, PBN-GNSS Workshop Lima, August 2016

Abkürzungen

AARES	Advanced Aeronautical Research and Education Simulator
APV	Approach procedure with Vertical Guidance
DME	Distance-Measuring Equipment
FAA	Federal Aviation Authority
GBAS	Ground Based Augmentation System
GNSS	Global Navigation Satellite System
ILS	Instrumentenlandesystem
LFZ	Luftfahrzeug
NDB	Non-Directional Radio Beacon
NPA	Non- Precision Approach
PA	Precision Approach
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services- Aircraft Operations
PAPI	Precision Approach Path Indicator
PFD	Primary Flight Display
PNF	Pilot Not Flying
SBAS	Satellite Based Augmentation System
VASI	Visual Approach Slope Indicator
VOR	VHF Omnidirectional Radio Range

Innovation im Fokus Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung

Innovation im Fokus erscheint halbjährlich und beschäftigt sich bevorzugt mit Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung mit Beteiligung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Diese Ausgabe ist elektronisch im Internet (www.dfs.de > [Flugsicherung](#) > [F&E](#) > [Service](#)) sowie über das DFS Intranet verfügbar. 80 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Wie auch der Vorgänger-Zeitschrift „TE im Fokus“ wurde dieser Zeitschrift von der Deutschen Bibliothek eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

Printversion: ISSN 2198-8951 (vormals: 1861-6364)

Internet-Version: ISSN 2198-896X (vormals: 1861-6372)

Datum dieser Ausgabe: 29.06.2017

DISCLAIMER

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

COPYRIGHT

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

Copyright © 2017 by DFS Deutsche Flugsicherung GmbH - Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintrag.



Impressum

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung,
Entwicklung und Validierung

Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Günter Achatz, Ralf Bertsch,
Bereichsleitung Planung & Innovation;

Redaktion:

Dr. Konrad Hagemann
Tel. +49 (0)6103 707 5745
E-Mail: konrad.hagemann@dfs.de

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

Dr. Morten Grandt
Tel. +49 (0)6103 707 1139
E-Mail: morten.grandt@dfs.de

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

Anschrift der Redaktion:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Redaktion Innovation im Fokus
Am DFS-Campus 5
63225 Langen
E-Mail: forschung@dfs.de

Nachdruck nur mit Genehmigung.

