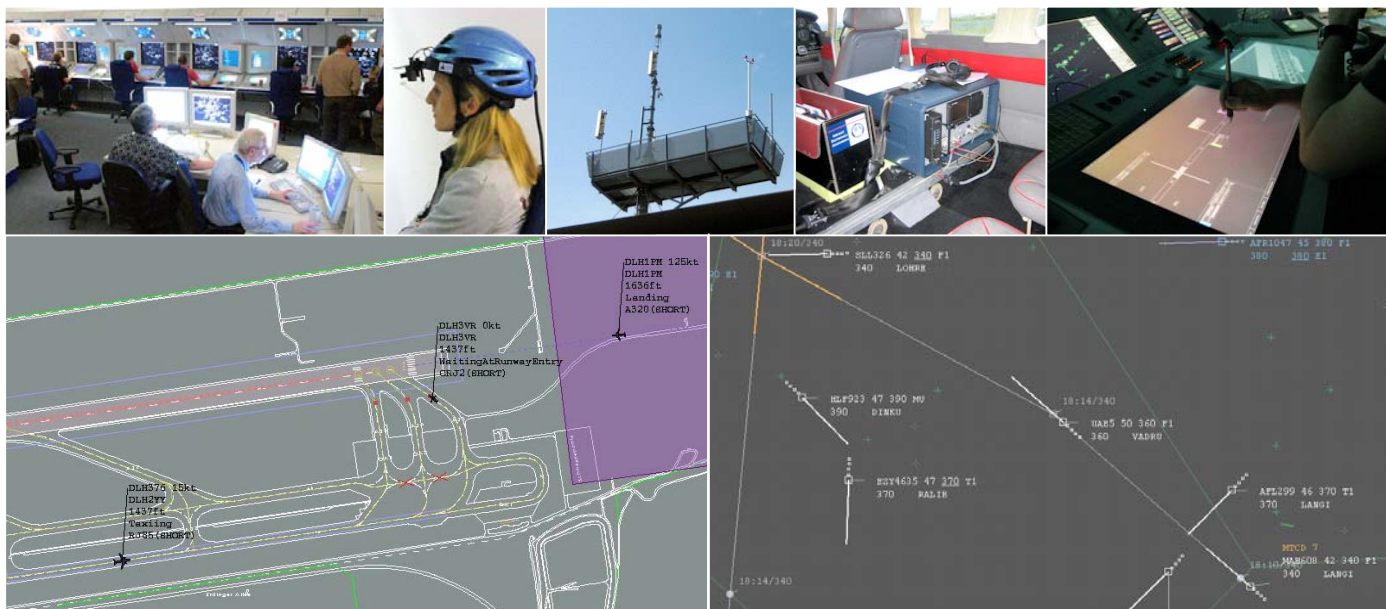


TE *im Fokus*

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

In dieser Ausgabe:

- Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung in der Flugsicherung – Quo vadis?
- Vom Schnellzeitsimulator TAAM zu AirTOP
- Analyse von ACAS-Ausweichanweisungen am Boden
- Evaluation of ADS-B data performance in radar environment using wide area multilateration systems
- Gaming – a new validation technique in ATM Research



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Dr. Morten Grandt, Dr. Konrad Hagemann, Stephan Herr, Michael Teichmann

Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung in der Flugsicherung – Quo vadis? 2

Wolfgang Theeck

Vom Schnellzeitsimulator TAAM zu AirTOP..... 11

Harald Fischer, Dr. Andreas Herber, Yvonne Graner

Analyse von ACAS-Ausweichenweisungen am Boden 16

Stefan Stanzel

**Evaluation of ADS-B data performance in radar environment
using wide area multilateration systems..... 25**

Eliana Haugg, Dr. Ralph Leemüller

Gaming – a new validation technique in ATM Research..... 34

Impressum..... 39



Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ist nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung in der Flugsicherung – Quo vadis?

Dr. Morten Grandt, TE/S, Dr. Konrad Hagemann, TE,
Stephan Herr, TE/A, Michael Teichmann, CC/FO04-M

1 Einleitung

Unter der Überschrift „Gaze Input – Quo vadis?“ fand am 16. und 17. Dezember 2009 beim Bereich F&E der DFS ein Informationsaustausch zum Thema Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung statt.

Hintergrund der Veranstaltung ist das Bestreben, angesichts der auch an Lotsenarbeitsplätzen stetig zunehmenden Informations- und Funktionsdichte Verfahren der Mensch-Maschine-Interaktion zu bewerten, die zum einen zu einer Verbesserung der Benutzbarkeit, zum anderen im Sinne multimodaler Interaktion zu einer gleichmäßigen Ausnutzung der kognitiven Ressourcen beitragen können. Aufgrund technologischer Weiterentwicklungen hin zur berührungslosen Blickbewegungsmessung kommt als eine Möglichkeit hierzu die Blicksteuerung in Betracht. Blicksteuerung wird genutzt, um basierend auf der gemessenen Blickposition des Benutzers Systemfunktionen auszuführen / auszulösen. Als ein prominentes Beispiel für eine unmittelbare Blicksteuerung sei hier zunächst die Positionierung des Mauszeigers anhand der Blickposition genannt.

Gemeinsam mit eingeladenen Experten des Instituts für Arbeitswissenschaft (IAD) und der Arbeitsgruppe Arbeits- und Ingenieurpsychologie der TU Darmstadt sowie des DLR-Instituts für Flugführung, des Fraunhofer FKIE und des Fraunhofer IITB wurde der Stand von Forschung und Technik im Bereich der Blickbewegungsmessung festgestellt und ihre Potenziale in der Flugverkehrskontrolle diskutiert.

In dem folgenden Beitrag werden die im Rahmen des Workshops diskutierten Aspekte aufgegriffen und eine Zwischenbilanz zum Stand von Forschung und Technik und den derzeitigen Nutzungsmöglichkeiten der Blickbewegungsmessung und -steuerung gezogen.

2 Blickbewegungsmessung

Durch Blickbewegungsmessung können die von einem Benutzer mit den Augen vollzogenen Blicke im Arbeitsbereich, z.B. auf den Bildschirm, registriert werden. Hierzu wird generell die momentane Augenstellung und die sich hieraus ergebende Blickrichtung ermittelt. Verharrt diese Blickposition für eine bestimmte Dauer (70...700 ms) innerhalb eines örtlich begrenzten Bereiches, kennzeichnet dies eine Fixation, innerhalb derer z.B. auf Anzeigegeräten oder Displays visuell dargebotene Informationen aufgenommen werden. Die Fixation stellt somit den ersten Schritt der Verarbeitung visueller Informationen dar.

Die Blickregistrierung erlaubt es zunächst, festzustellen, an welcher (Bildschirm-)Position der Benutzer welche Informationen aufnimmt und wie viel Zeit die Informationsaufnahme in Anspruch nimmt. Dargestellt werden diese Informationen meist in Form sog. *gaze spots* oder *heatmaps*. Diese Kenntnisse sind z.B. in der Systemgestaltung bedeutsam für die räumliche Anordnung visueller Informationen und die Gestaltung von (Bildschirm-)Anzeigen.

Die Blickregistrierung kann darüber hinaus weitere Aufschlüsse liefern, z.B. in Bezug auf Strategien bei der Informationssuche, die durch die als sog. *gaze trace* dargestellte Fixationsfolge erkennbar wird.

Auch beanspruchungs- oder vigilanzkorrelierte psychophysiologische Effekte können durch Blickbewegungsmessung aufgedeckt werden, z.B. anhand der Fixationsfrequenz und -dauer oder mittels okulomotorischer Parameter wie Lidschlussdauer und -frequenz.

2.1 Blickregistrierungsverfahren

In der Vergangenheit kam zur Blickregistrierung vorrangig die Elektrookulographie (EOG) zum Einsatz, bei der je zwei vertikal und horizontal um das Auge angeordnete Elektroden die sich bei verschiedenen Blickpositionen ergebenden, vari-

ierenden Spannungsgefälle aufnehmen. Mit dieser Methode ist eine Genauigkeit von etwa 2° zu erzielen.

Sehr belastend für den Untersuchten, jedoch mit einer Auflösung von $0,05^\circ$ hochgenau ist die Verwendung von Kontaktlinsen, in welche Spulen eingebettet sind, die im elektromagnetischen Feld je nach Blickposition unterschiedliche Induktionsströme liefern (*search coil*-Technik).

Deutlich komfortabler ist die Blickbewegungsmessung seit der Einführung bildgestützter Verfahren zur Blickregistrierung. Hierunter fallen zunächst Verfahren, die zur Bestimmung der Blickposition die Lageänderung des durch künstliche Beleuchtung (meist im nahen IR-Bereich) auf der Rückseite der Hornhaut (lat. *cornea*) entstehenden Cornea Reflexes relativ zur Pupillenmitte auswerten (Infrarot-Okularographie, IROR). Durch eine Kamera wird das Auge aufgenommen, und durch eine nachfolgende Bildverarbeitung kann zum einen die Pupille, zum anderen der Cornea Reflex aus dem Bild extrahiert und vermessen werden. Auch andere Reflexionen an den Grenzflächen des optischen Apparates können auf ähnliche Weise ausgewertet werden.

Noch vor etwa 10 Jahren wurde das IROR-Verfahren fast ausschließlich kopfbasiert angewendet. Hierbei trägt der Untersuchte ein Kopfband, an dem die beschriebene Sensorik sowie meist zusätzlich eine Szenenkamera und ein Head-Tracker zur Verfolgung der Kopfposition befestigt ist. Vorteil dieser Geräte: Der Kopf ist – abgesehen von leichten Behinderungen durch Kabel – relativ frei beweglich, und bei Verwendung portabler Aufzeichnungsgeräte kann der Untersuchte sogar umherlaufen. Dies macht die Untersuchungstechnik interessant für den Einsatz in der Konsumenten-/Werbeforschung, z.B. in Supermärkten. Aufgrund des recht hohen Gewichts dieser Komponenten und der sich aus der frontalen Position über/vor der Stirn ergebenden inhomogenen Druckverteilung am Kopf beginnen die Untersuchten jedoch üblicherweise nach etwa 30 Minuten, über Kopfschmerz zu klagen; eine langandauernde Messung ist daher nahezu ausgeschlossen.

Mittlerweile hat sich deshalb insbesondere für die Untersuchung an Bildschirmarbeitsplätzen die Verwendung berührungslos messender Geräte etabliert. Die messtechnischen Komponenten (IR-Beleuchter und Kamera) sind hierbei nahe

am Bildschirm positioniert und nehmen von dort aus den Augenbereich des Benutzers auf (siehe Abbildung 1). Der Vorteil liegt auf der Hand: Die Messung führt nicht unmittelbar zu einer Beeinträchtigung des Benutzers, der sich zudem frei bewegen kann. Da der Erfassungsbereich der Geräte technisch begrenzt ist, sollte der Benutzer im Interesse auswertbarer Messergebnisse seine Kopf- und damit auch Sitzposition allerdings nicht zu stark verändern.

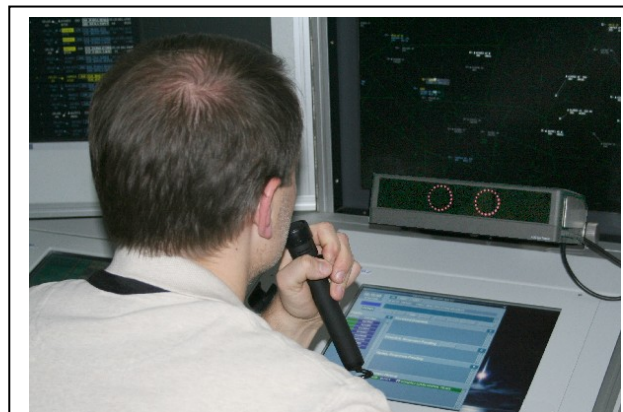


Abb. 1: Berührungslos messendes Blickbewegungsmessgerät am Lotsenarbeitsplatz (unterhalb des großen Bildschirms rechts)

Ebenfalls berührungslos messen Geräte, die nicht wie beim IROR-Verfahren das Bild des im Auge provozierten Cornea Reflexes, sondern die Videoaufnahme des Kopfes und insbesondere des Gesichtes mittels Bildverarbeitungsalgorithmen im Hinblick auf markante Gesichtszüge wie Augen- und Mundwinkel, Nasenspitze, Ohrfläppchen etc. auswerten, sog. *Facial Feature Tracker*.

Die heute verfügbaren bildgestützten Blickregistrierungsverfahren erlauben die binokulare Bestimmung der Sehachsen und des Fixationspunktes mit einer Genauigkeit von 1° bis $<0,5^\circ$ (Sehwinkel) bei einer Messrate zwischen 50 und 240 Hz. Bei einer exemplarisch angenommenen Auflösung von $0,5^\circ$ und einer Sehentfernung von 80 cm kann demzufolge ein Blicksprung ab einer Amplitude von 14 mm detektiert werden. Zum Vergleich: Der Bereich des schärfsten Sehens ist um die 0,33 mm weite Sehgrube der Netzhaut (*fovea centralis*) herum auf höchstens 1° Sehwinkel begrenzt. Der mit einer einzigen Fixation erfassbare Bereich fovealen Sehens hat folglich bei 80 cm Sehabstand einen Durchmesser von

maximal 28 mm. Bezogen auf den FVK-Arbeitsplatz ist also z.B. ein Daten-Label gerade noch mit einer Fixation erfassbar. Die Analyse des Auslesens einzelner Label-Elemente ist jedoch bei der beispielhaft genannten Auflösung messtechnisch bedingt nicht möglich. Gleichwohl kann – eine gültige Kalibrierung des Systems vorausgesetzt – das aufeinanderfolgende Fixieren unterschiedlicher, nicht überlappender Label festgestellt werden.

2.2 Heutige Anwendungen

Wie bereits an einigen Beispielen erläutert, stellt die Blickbewegungsmessung in verschiedenen Anwendungsdomänen zuallererst ein Verfahren zur Analyse von Blickbewegungen dar. Ziel dieser offline durchgeführten Analysen von Blickinformationen ist es, retrospektiv zu beurteilen, wo ein Benutzer über welche Zeiträume hinweg Informationen aufgenommen hat, um daraus im Weiteren gestalterische Maßnahmen abzuleiten. Dies können wie z.B. in der Konsumforschung Ansätze zur Gestaltung und Positionierung von Werbebannern und Produkten sein. Im Rahmen der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung und Systembewertung kommt die Blickbewegungsmessung sowohl zur Untersuchung von Anzeige- und Displaylayouts als auch zur Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit (*usability*) zum Einsatz. In beiden genannten Domänen kann die Blickbewegungsmessung und -analyse mittlerweile als etabliertes Verfahren angesehen werden.

Die Nutzung der Blickregistrierung zur in Echtzeit durchgeführten Kontrolle von Blickpositionen wird vorrangig im Bereich der Telearbeit und Telerobotik erforscht.

Als Eingabemedium, d.h. zur blickgesteuerten Interaktion mit technischen Systemen, findet die Blickbewegungsregistrierung bislang nur dort Anwendung, wo andere Eingabemedien nicht genutzt werden können. Dies trifft im besonderen Maße zu bei der Realisierung barrierefreier Mensch-Computer-Schnittstellen sowie ferner in der Rehabilitationsmedizin und bei der Ansteuerung von Neuroprothesen. Im militärischen Bereich erfolgt eine Nutzung der Blickposition, indem im Kampfflugzeug die Ausrichtung von Waffenanlagen dieser nachgeführt werden kann; allerdings wird hierzu vorrangig die Kopf-, nicht die Augenposition erfasst.

3 Ideenworkshop

Die Frage, die den Teilnehmern des Ideenworkshops gestellt wurde, lautete: „Welche Perspektiven weisen innovative Blickregistrierungsverfahren bezüglich des Einsatzes an Lotsenarbeitsplätzen auf?“ Kann also bei Verwendung der mittlerweile verfügbaren Messverfahren über die heute übliche Nutzung hinaus ein höherer Nutzen aus der Blickpositionsbestimmung erzielt werden?

3.1 Einführung FVK und prototypische Anwendung der Blicksteuerung

Im Rahmen einer Einführung der Teilnehmer in die spezifischen Randbedingungen der hier fokussierten Anwendungsdomäne „Flugverkehrskontrolle“ wurde der Einsatz der Blicksteuerung in einer im Zusammenhang mit dem Vorhaben CATO (Controller Assistance Tools) ohnehin geplanten Realzeitsimulation demonstriert. Hierzu wurde prototypisch ein Blickbewegungsmessgerät der Firma Tobii Technology AB, Schweden, mit dem Advanced Function Simulator (AFS) gekoppelt. Dabei wurde das Gerät so in das prototypische ATM-System integriert, dass der Mauszeiger von den beteiligten Lotsen der NL München mit Blicken gesteuert werden konnte. In der anschließenden Diskussion mit den Fluglotsen wurde die Erwartung bestätigt, dass diese unmittelbare Nutzung der Blicksteuerung als alleiniges Eingabemedium, also ein vollständiger Ersatz von Computermaus oder Tastatur, für die Anwendung am Lotsenarbeitsplatz nicht in Frage kommt, da die den Lotsen vertraute Arbeitsweise in zu starkem Maße beeinflusst würde. Auch das in der Literatur bekannte „Midas-Touch-Problem“ (Jacob, 1990) – jede, ggf. auch ungewollte Blickbewegung löst einen Steuerbefehl aus – lässt einen solchen Ansatz als nicht erfolgversprechend erscheinen. Gleichwohl wurde der Eindruck gewonnen, dass die technische Realisierung der Blickbewegungsmessung weit fortgeschritten ist und eine weitere Untersuchung der Thematik nahelegt.

3.2 Ablauf der Diskussion

Die Nutzungsmöglichkeiten der Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung wurden aus verschiedenen Blickwinkeln diskutiert:

- **Technische Eigenschaften:** Insbesondere beim Einsatz an FVK-Arbeitsplätzen ist die Funktionssicherheit von besonderer Bedeutung. Sowohl die Fehlerrate als auch die Latenzzeit implementierter Systemfunktionen müssen minimal sein. Das gewählte Verfahren muss ferner robust sein gegen gelegentliche Blickabwendungen des Benutzers. Es ist darauf zu achten, dass die Blickregistrierung auch beim Tragen von Sehhilfen (Brillen, Kontaktlinsen) sicher und fehlerfrei funktioniert. Die mit der heute verfügbaren Technik erreichbare Auflösung schränkt die Nutzung ein.
- **Integration:** Insbesondere die hier beispielhaft demonstrierte Mauszeiger-Steuerung wurde als sehr anstrengend empfunden. Anstelle der Substitution der Computermaus durch die Blicksteuerung werden multimodale Ansätze favorisiert, die eine Kombination verschiedener Interaktionsverfahren verfolgen, z.B. durch EingabeprozEDUREN, die Mausklick, Spracheingabe und Blickpositionsverfolgung miteinander vereinen. Unklar ist, wie sich möglicherweise das Benutzerverhalten infolge der Nutzung der Blicksteuerung verändern wird.
- **Anwendung:** Es kann überwacht werden, ob sicherheitsrelevante Systemmeldungen, z.B. MTCD, STCA, vom Lotsen wahrgenommen wurden, um ggf. ergänzende akustische Warnungen auszulösen.

Als mittelbar blickgesteuerte Systemfunktion (abzugrenzen von der unmittelbaren Steuerung z.B. des Mauszeigers) kann das Einblenden von Kontextinformation in Bezug auf momentan fixierte Informationen sinnvoll sein.

Des Weiteren werden Potenziale im Bereich Ausbildung und Training gesehen, indem z.B. das Beobachtungsverhalten des Auszubildenden verfolgt werden kann. Auch kann durch das wechselseitige Einblenden der momentanen Blickposition, d.h. des Aufmerksamkeits-schwerpunktes, die Kooperation zwischen Executive- und Planungslotsen unterstützt werden.

4 Gesamtbewertung derzeitiger Einsatzmöglichkeiten von Blickbewegungsmessung und Blicksteuerung

Die heutigen Verfahren der Blickbewegungsmessung eröffnen ein weites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten im Kontext der Gestaltung und des Betriebs von Mensch-Maschine-Systemen und Mensch-Maschine-Schnittstellen. Diese sollen im Folgenden anhand verschiedener Nutzungsebenen beschrieben werden (s. Abbildung 2). Im Weiteren von Relevanz sind technische und auch organisatorische / nicht-technische Randbedingungen.

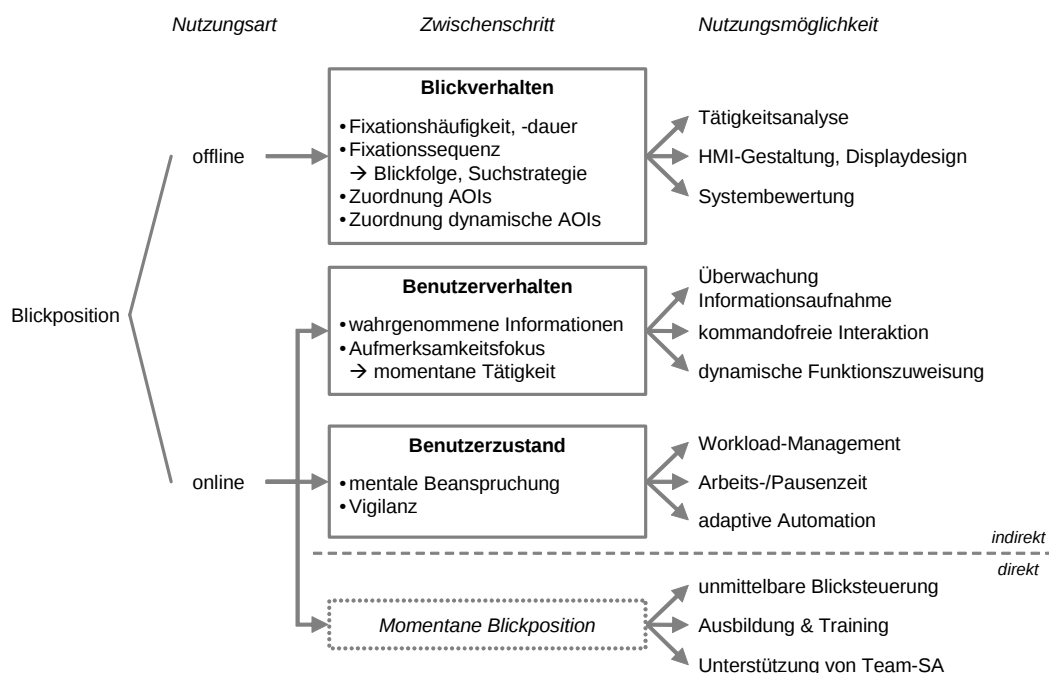


Abb. 2: Einordnung von Nutzungsmöglichkeiten

4.1 Nutzungsmöglichkeiten

In diesem Zusammenhang ist zunächst die – wie oben beschrieben weit verbreitete – offline-Analyse von der online-Nutzung zu operationellen Zwecken zu unterscheiden. Ferner ergibt sich eine Differenzierung zwischen der direkten und indirekten Nutzung. Letztere erfordert vor der „Verwertung“ der Blickbewegungsdaten meist verschiedene Zwischenschritte zur Datenaufbereitung und -analyse. Die von den Geräteherstellern üblicherweise mitgelieferte Analyse-Software kann zumindest einen Teil dieser Zwischenschritte unterstützen. Bei der direkten Nutzung hingegen wird die momentan gemessene, auf die Displaykoordinaten bezogene Blickposition unmittelbar im Anwendungssystem weiterverarbeitet.

4.1.1 Offline-Analyse des Blickverhaltens

Die Nutzung auf dieser Ebene erfolgt typischerweise, um im Rahmen von Tätigkeitsanalysen das Interaktionsverhalten von Benutzern zu analysieren, Systementwürfe ergonomisch zu bewerten oder Gestaltungsdefizite operationeller Systeme aufzudecken. Die Blickbewegungsdaten werden hierzu im Rahmen von Versuchskampagnen in Experimental- und prototypischen Umgebungen oder im operationellen Betrieb aufgezeichnet und im Anschluss retrospektiv ausgewertet.

Um Schwerpunkte der Aufmerksamkeitszuwendung zu identifizieren und somit letztlich ein an den Arbeitsprozess angepasstes Displaylayout zu entwerfen, wird der Anzeigebereich hierbei üblicherweise in sog. Area of interest (AOIs) unterteilt. Mithilfe der von den Geräteherstellern gelieferten Analyseprogrammen lässt sich in einem Zwischenschritt bestimmen, in welchen Bildschirmbereichen besonders viele Informationen aufgenommen worden sind (erkennbar durch eine hohe Fixationshäufigkeit und/oder kumulierte Fixationsdauer) oder in welchen Sequenzen Informationen aus einzelnen Darstellungsbereichen abgerufen werden (Fixationsfolge). Ferner ist feststellbar, ob bestimmte Anzeigelemente ggf. schlecht ablesbar sind, was sich durch eine hohe Fixationsdauer äußern kann.

Eine für den FVK-Bereich interessante Weiterentwicklung des DLR-Instituts für Flugführung stellt die Definition dynamischer AOIs dar (Friedrich & Gross, 2010). Dynamische AOIs sind Bild-

schirmbereiche, die bewegliche Radartracks umgeben und diesen nachgeführt werden. Dadurch lassen sich Blickpositionen, Fixationshäufigkeiten und -dauern trackbezogen ermitteln. Soll z.B. untersucht werden, welche Auswirkungen die Einführung neuer betrieblicher Verfahren für einzelne Luftfahrzeuge in Bezug auf den bodenseitigen Koordinierungsaufwand zur Folge hat, lässt sich dies nun deutlich besser analysieren.

4.1.2 Online-Analyse des Benutzerverhaltens

Die bei der offline-Analyse ausgewerteten Informationen können prinzipiell auch in Echtzeit (online) ermittelt und genutzt werden. Ein als passiv zu charakterisierender Nutzungsansatz sieht vor, die Blickpositionen des Benutzers dahingehend auszuwerten, ob bestimmte visuell dargebotene Informationen wahrgenommen wurden. Um sicherzustellen, dass z.B. eine Warnmeldung (wie MTCD, STCA) nicht übersehen wird, kann in einer Echtzeit-Auswertung – bei trackbezogenen Meldungen auch unter Verwendung dynamischer AOIs (s.o.) – das Fixieren des entsprechenden Informationselements überwacht werden. Im Weiteren kann ein solcher „Wachsamkeitsassistent“ die visuelle Warnmeldung gegebenenfalls durch einen akustischen Alarm ergänzen.

Ansätze zur Realisierung adaptiver Systeme, solcher Systeme also, die sich in ihrem „Verhalten“, d.h. ihrer Funktionalität, an das Benutzerverhalten anpassen, werden schon seit einigen Jahren verfolgt (Rouse, 1991). Eng verwandt mit dem Ansatz adaptiver Systeme ist der Ansatz der kognitiven Automation (Onken & Walsdorf, 2001; Donath & Schulte, 2006), der einen situativ angepassten, variablen Automatisierungsgrad propagiert.

Hintergrund beider, hier als aktiv zu verstehender Ansätze ist der Gedanke, das Systemverhalten bestmöglich an die situationsbedingt vorgegebenen oder individuell spezifischen momentanen Bedürfnisse des Benutzers anzupassen. Die Adaption könnte dann in der Weise erfolgen,

- a) dass dem Benutzer zu einer momentan bearbeiteten Aufgabe gezielt Unterstützung angeboten wird. Dies kann in einer einfachen Form z.B. durch zusätzlich visualisierte, detaillierte Informationen in Bezug auf das momentan fixierte Informationselement realisiert werden. Dies kann mittels der beschriebenen

dynamischen AOIs auch trackbezogen erfolgen.

- b) dass nicht nur für einzelne Informations-elemente, sondern für ganze Bearbeitungs-sequenzen vom System selbstständig notwendige Anzeigen eingeblendet werden (kommandofreie Interaktion; Israel, 1999).

Voraussetzung für eine nach b.) erweiterte Adaption an das Benutzerverhalten oder noch weiter reichende Ansätze zur kognitiven Automation ist die Kenntnis darüber, womit sich der Benutzer momentan beschäftigt. Diese Kenntnis zu erlangen, wirkt insbesondere bei Überwachungstätigkeiten und bei niedriger Arbeitsintensität Probleme auf, da es in diesen Fällen nicht möglich ist, entsprechende Rückschlüsse aus (dann ausbleibenden) Systemeingaben des Benutzers zu ziehen. Die Registrierung der Blickposition kann, eine hinreichende Wachsamkeit des Benutzers vorausgesetzt, dieses Informationsdefizit schließen. Weitere wichtige Voraussetzung einer derartigen Nutzung ist es, den mittels Blickbewegungsmessung festgestellten Aufmerksamkeits-schwerpunkt (oder ihre Abfolge) einer spezifischen Tätigkeit zuzuordnen. Hierzu sind entsprechende (kognitive) probabilistische Modelle erforderlich, welche die typischen Tätigkeiten des Benutzers abbilden, mit denen die beobachteten Tätigkeitssequenzen korreliert werden können. Ansätze hierzu wurden z.B. bereits in der Flugführung entwickelt (Flemisch, 2001). Da das Benutzerverhalten aufgrund individueller Arbeitsstile interindividuell stark variieren kann, ist es zwingend notwendig, diese Modelle benutzerbezogen zu determinieren und als Benutzerprofile zu hinterlegen. Problematisch erscheinen die häufig zu beobachtenden intraindividuellen Verhaltensunterschiede, die z.B. durch unterschiedliche Beanspruchungsgrade oder die momentane Disposition (Tagesform, emotionale Aspekte) hervorgerufen werden.

4.1.3 Online-Analyse des Benutzerzustandes

Während der oben beschriebene verhaltensbezogene Adaptionsansatz eine Funktionszuweisung aufgrund der Feststellung ggf. miteinander konkurrierender Aufgaben vollzieht, also auf die externe Arbeitssituation des Benutzers fokussiert, sind auch Ansätze entwickelt worden, welche die interne Arbeitssituation des Benutzers als Ausgangspunkt für eine dynamische Funktions-

zuweisung annehmen. Im Mittelpunkt steht folglich nicht die Belastung des Benutzers, sondern der aus der Tätigkeit resultierende Benutzerzustand (*operator functional state, OFS*; vgl. NATO-RTO, 2004). Dieser wird ausgedrückt durch (mentale) Beanspruchung (*mental workload*, s.a. Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, Rohmert, 1984), die Vigilanz oder auch das Situationsbewusstsein (*situational awareness, SA*; Endsley, 1995) des Benutzers.

Sowohl wenn diese Zustandsinformationen als Führungsgröße in adaptive Systeme einfließen sollen, als auch bei einer angedachten Nutzung im Rahmen des Workload-Managements oder zur (flexiblen) Regelung von Arbeits- und Pausenzeiten, müssen valide Modelle in Bezug auf das belastungsinduzierte Beanspruchungsverhalten bzw. Vigilanz oder SA vorliegen. Die Nutzbarkeit psychophysiologischer Daten in diesem Kontext, insbesondere in Hinblick auf okulomotorische oder Blickbewegungsparameter, wurde bereits verschiedentlich untersucht und diskutiert (vgl. Grandt, 2004). Zum derzeitigen Reifegrad des Ansatzes kann festgestellt werden, dass die Überwachung des Vigilanzzustandes anhand des Lidschlages weit entwickelt ist und entsprechende Systeme z.B. im Nutzfahrzeugbereich bereits kommerziell verfügbar sind. In Bezug auf mentale Beanspruchung und SA erfordert der Weg zu validen Modellen jedoch noch erheblichen Forschungsbedarf.

4.1.4 Direkte Nutzung von Blickpositions-Informationen

Wie bereits oben erläutert, ist die Nutzung der Blickposition zur unmittelbaren, aktiven Steuerung von Systemfunktionalitäten eher kritisch anzusehen, soweit statt dessen Eingabegeräte genutzt werden können, die nicht dem Midas-Touch-Problem unterliegen, z.B. Computermaus, Tastatur, berührungsempfindlicher Bildschirm (*touch input*) oder auch Spracheingabe.

Es kann jedoch sinnvoll sein, auch in Echtzeit Informationen darüber bereitzustellen, wohin der Benutzer momentan blickt, z.B. dann, wenn ein Auszubildender beobachtet wird oder zwei oder mehr örtlich verteilte Benutzer gemeinsam eine Aufgabe bearbeiten. In diesen Fällen kann der Nutzer dieser Information möglicherweise unmittelbar Rückschlüsse darüber ziehen, mit welcher Aufgabe der andere, „beobachtete“ Benutzer

beschäftigt ist, und infolgedessen gezielt Hilfe anbieten oder Hinweise geben. Als Möglichkeiten einer solchen direkten Nutzung der Blickpositionsdaten werden im FVK-Bereich deshalb vorrangig die Verbesserung von Team Situation Awareness (Team-SA) in kooperativen Arbeitsprozessen sowie die Bereiche Ausbildung & Training angesehen. Eine mögliche Form der Realisierung besteht in beiden Anwendungsfällen darin, die aktuelle Blickposition des „beobachteten“ Benutzers der (übereinstimmenden) Displayanzeige des Beobachters zu überlagern.

4.2 Technische Randbedingungen

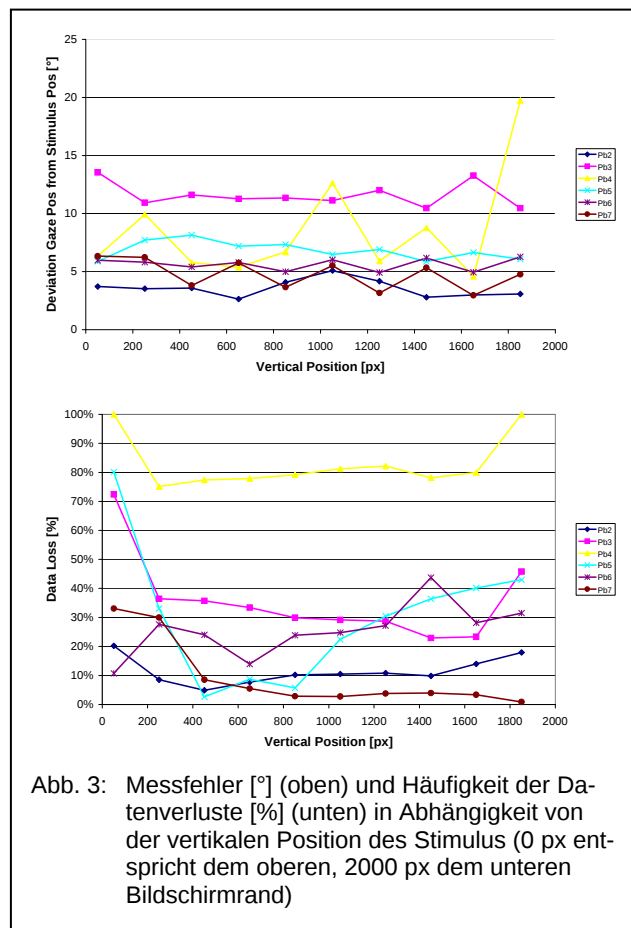
Trotz der in den vergangenen Jahren erreichten Weiterentwicklungen ist die Integration von Blickbewegungsmesssystemen in den typischen FVK-Konsolenarbeitsplatz weiterhin als kritisch zu betrachten. Im Frühjahr 2010 wurde zur ersten Orientierung zunächst ein auf Infrarot-Okularographie basierendes, berührungslos messendes Gerät unter Einbeziehung verschiedener Probanden in sechs Messreihen erprobt. Hierbei wurde die Abweichung des gemessenen Fixationspunktes von zu betrachtenden, sequentiell im gesamten Bildschirmbereich einer AFS CWP dargebotenen visuellen Stimuli ausgewertet.

Das an heutigen FVK-Arbeitsplätzen verwendete großflächige Display von 2K*2K Pixel auf 505*505 mm ist nicht kompatibel zu dem hier getesteten Messgerät. Bei Blickbewegungen nach oben war die Pupille durch das Kamerasystem des Messgerätes nicht mehr erfassbar, was eine Blickpositionsbestimmung im oberen Bildschirmbereich unmöglich machte (s. Abbildung 3).

Einen weiteren Problempunkt stellte der begrenzte Erfassungsbereich des verwendeten berührungslos erfassenden Messgerätes dar: Berücksichtigt man das natürliche Sitz- und Bewegungsverhalten der Benutzer, erscheint der Zwang, den Kopf über einen langen Zeitraum in einem definierten, verhältnismäßig kleinen Raumbereich positionieren zu müssen, aus ergonomischer Sicht als unzureichend und aus Nutzersicht unakzeptabel.

Beide, zum Teil (FVK-)arbeitsplatzspezifischen Problembereiche führen insgesamt zu einer ungenügenden Robustheit und Genauigkeit der

Messung. So ist in Abbildung 3 auch erkennbar, dass das obere Fünftel des Bildschirms messtechnisch lediglich sporadisch erfasst wurde. Auch im restlichen Bildschirmbereich ist eine Verlustquote von ca. 20% ungenügend. Der im Wesentlichen hieraus resultierende mittlere Messfehler von ca. 7° liegt weit außerhalb der geräteseitig prinzipiell möglichen Toleranz.



Als (recht kostspielige) Lösung dieses Problems kann derzeit lediglich die Verwendung mehrerer Messgeräte mit anschließender Datenfusion in Erwägung gezogen werden.

Weitere Untersuchungen unter Verwendung eines Facial Feature Trackers sollen folgen, da dessen Messprinzip weniger Restriktionen im Hinblick auf die Positionierung der Sensorik im Arbeitsumfeld aufweist und das detektierbare Volumen durch Verwendung mehrerer Kameras erweitert werden kann.

Positiv hervorzuheben ist, dass die Kalibrierung der verfügbaren Geräte mittlerweile unkompliziert

durchzuführen ist, ohne dass ein Experte zugegen sein muss. Die meisten berührungslos messenden Geräte sind auch robust gegen kurzzeitige Blickabwendungen (z.B. beim Wegdrehen des Kopfes) und liefern nach erneuter Blickzuwendung exakte Messergebnisse. Auch die typische räumliche Auflösung der Messdaten ist für die oben skizzierten Nutzungsmöglichkeiten als ausreichend zu beurteilen. Ob die Messdaten dieser Geräte einer Drift, d.h. einem langsam wachsenden Versatz der Messwerte unterliegen können, wie sie bei kopfbasierten Messgeräten häufig zu beobachten ist, muss experimentell geklärt werden.

4.3 Organisatorische / Nicht-technische Randbedingungen

In Hinblick auf die nicht-technischen Aspekte einer kontinuierlichen Nutzung von Blickbewegungsmessgeräten am Arbeitsplatz stellt sich zuallererst die Frage, ob die Benutzer diese Technologie dauerhaft akzeptieren würden. Ein wichtiges Akzeptanzkriterium ist der Komfort. Bei Verwendung berührungslos arbeitender Geräte muss der Benutzer keine Elektroden oder Kopfbänder tragen, so dass diesbezüglich keine Vorbehalte zu erwarten sind. Auch mögliche Sorgen vor den Folgen der bei Verwendung eines IROR-basierten Gerätes – tatsächlich unschädlichen – dauerhaften Bestrahlung der Augen mit Licht im nahen Infrarot können durch hinreichende Aufklärung der Benutzer sicherlich ausgeräumt werden. Der – wie oben erläutert – geringe zulässige (Kopf-)Bewegungsraum heutiger Geräte steht dem Komfortanspruch der Benutzer jedoch entgegen und wird z.B. auch in Experimentalkampagnen von der Mehrzahl der Benutzer als nicht akzeptabel beurteilt.

Aus sicherheitstechnischer Sicht muss bei Einführung der Technologie am Arbeitsplatz geklärt werden, ob der Ausfall eines Messgerätes betrieblich sicher beherrschbar ist. Hierzu muss zum einen gewährleistet sein, dass Systemfehler sicher erkannt und dem Benutzer mitgeteilt werden. Zum anderen ist sicherzustellen, dass der Benutzer seine Aufgaben auch bei – im Hinblick auf die Blickpositionserfassung – eingeschränkter Systemfunktionalität sicher erfüllen kann. Die Nutzung der Blickbewegungsmessung als Eingabemedium oder im Sinne der Systemadaption sollte deshalb zunächst verstanden werden als

Zusatzkomponente zur Erleichterung der Systembedienung, keinesfalls jedoch als für den sicheren Betrieb erforderliche Systemkomponente. Hierbei ist auch die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass die Blickposition einzelner Benutzer aus den oben genannten technischen Gründen überhaupt nicht erfasst werden kann. In jedem Fall ist durch regelmäßiges Training die Beherrschung der „klassischen“ (Bedien-)Verfahren zu gewährleisten.

In Hinblick auf arbeitsrechtliche Aspekte erscheint als bedeutsam, dass durch die Messgeräte kontinuierlich und dauerhaft das Blickverhalten der Benutzer erfasst wird. Die Randbedingungen des Einsatzes dieser Geräte und die Verwendung der erfassten Daten müssen deshalb exakt definiert und begrenzt werden.

5 Fazit

Bleibt abschließend zu klären, ob der Ideenworkshop die ihm übergeordnete Frage „quo vadis?“ beantworten und eine Richtungsbestimmung erreichen konnte.

Das Spektrum potenzieller Nutzungen der Blickbewegungsmesstechnik hat sich durch ihre Weiterentwicklung deutlich von der Systemanalyse hin zum operationellen Bereich verbreitert. Dadurch sind heute zukünftige Anwendungen dieser Technologie am Arbeitsplatz denkbar, die zu einer Erleichterung der Systembedienung oder sogar zu einer benutzerzentrierten, kooperativen Automation von FVK-Systemen beitragen können.

Die im Rahmen des Ideenworkshops diskutierten, heute kommerziell verfügbaren Gerätetechnologien weisen allerdings nach wie vor einzelne Defizite auf, die einem operationellen Einsatz im Wege stehen. Welche zeitliche Perspektiven anzusetzen sind, bis auch diese Hindernisse ausgeräumt werden können, können nur die Gerätehersteller abschätzen.

Die initiierte Diskussion auf Nutzerseite erlaubt es zum einen, Impulse für die technische Weiterentwicklung der Messgeräte zu geben. Wie ausführlich erläutert sind hier zunächst Verbesserungen in Hinblick auf den Erfassungsbereich und die Robustheit der Geräte von besonderem Interesse. Zum anderen ermöglicht die Diskussion, frühzeitig Nutzungspotenziale für zukünftige FVK-Arbeitsplätze zu formulieren. So wurde

deutlich, dass eine schnelle Integration in Bezug auf eine direkte Nutzung als blickgesteuertes Eingabemedium im FVK-Bereich aus vielerlei Gründen zum jetzigen Zeitpunkt nicht verfolgt werden sollte. Jedoch können Information über die Blickposition des Lotsen sinnvoll ausgewertet werden, um die Wahrnehmung von Warnmeldungen zu überwachen oder Detailinformationen situations- und ortsgerecht ein- und auszublen- den. Weitergehende Ansätze können im Kontext adaptiver Systeme bzw. kooperativer Automation verfolgt werden. Im Anwendungsfeld FVK-Arbeitsplatz sinnvolle und erfolgversprechende Nutzungskonzepte sind im Weiteren experimen- tell zu untersuchen und schrittweise zu verfeinern – ungeachtet der bereits erzielten Fortschritte ein zumindest in Teilbereichen noch langer Weg, den der Bereich F&E der DFS gemeinsam mit Universitäten und Forschungseinrichtungen fort- führen will.

Quellen

Donath, D. & Schulte, A. (2006). Weiterentwick- lungsmöglichkeiten kognitiver und kooperativer Operateurassistentz: Ein Konzeptansatz für mo- dellbasierte adaptive Automation. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung* (DGLR- Bericht 2006-02). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.

Endsley, M.R. (1995). Toward a Theory of Situa- tion Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37 (1) 32-64.

Flemisch, F.O. (2001). *Pointillistische Analyse der visuellen und nicht- visuellen Interaktionsres- sourcen am Beispiel Pilot-Assistenzsystem*. Dis- sertation. Universität der Bundeswehr München, Neubiberg.

Friedrich, M. & Gross, H. (2010). Auswertung von Blickbewegungsdaten anhand von automatisch generierten dynamischen AOIs. *EyesTea*, 14.01.2010, TU Berlin.

Grandt, M. (2004). *Zur Erfassung und Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels psychophy- siologischer Messverfahren*. Dissertation, Bergi- sche Universität Wuppertal.

Israel, J.H. (1999). Kommandofreie Interaktion. *MMI-Interaktiv*, 2-25, 1999.

Jacob, R.J.K. (1990). What You Look At Is What You Get: Eye Movement-Based Interaction

Techniques. *ACM CHI'90 Proceedings* (pp 11- 18). Reading, Mass.: Addison-Wesley/ACM Press.

NATO-RTO (2004). *Operator Functional State Assessment*. NATO-RTO-TR-HFM-104. Neuilly- sur-Seine: NATO Research & Technology Or- ganization.

Onken R. & Walsdorf A. (2001). Assistant sys- tems for aircraft guidance: cognitive man- machine cooperation. *Aerospace Science Tech- nology*, 5, pp 511-520.

Rohmert, W. (1984). Das Belastungs- Beanspruchungs-Konzept. *Z.Arb.wiss.*, 38 (10 NF),193-200

Rouse, W.B. (1991). *Design for success: a hu- man-centered approach to designing successful products and systems*. New York: Wiley

Abkürzungen

AOI	Area of interest
ATM	Air Traffic Management
CWP	Controller Working Position
EOG	Elektrookulographie
FVK	Flugverkehrskontrolle
IROR	Infrarot-Okularographie
MTCD	Medium-Term Conflict Detection
OFS	Operator Functional State
SA	Situation(al) Awareness
STCA	Short-Term Conflict Alert

Vom Schnellzeitsimulator TAAM zu AirTop

Wolfgang Theeck (TE/S)

Einleitung

Im nachfolgenden Bericht sind die Beweggründe für die Entwicklung und Nutzung eines neuen Schnellzeitsimulators beschrieben. Der Bericht analysiert die Funktionalität der neuen Schnellzeitsimulationssoftware AirTop (**Air Traffic Optimiser®**) und stellt einen Vergleich zum TAAM-Simulator (**Total Airspace and Airport Modeller®**) an. Hierzu werden Auszüge aus dem für die Freigabe der Simulationssoftware AirTop angefertigten Prüfbericht verwendet.

Hintergrund

Seit 1993 werden im Fachbereich Schnellzeitsimulationen der DFS Luftraum- und Flughafensimulationen durchgeführt. Von 1993 bis 2008 wurde die Schnellzeitsimulationssoftware TAAM eingesetzt. Die TAAM-Simulationssoftware wurde vor mehr als 20 Jahren von der Australischen Preston Group in Kooperation mit dem Australischen Flugsicherungsanbieter Airservices Australia entwickelt. Heute wird die Software von der Firma Jeppesen vermarktet. TAAM stellt realistische Verkehrsabläufe für Luftfahrzeuge am Boden und in der Luft dar und ermöglicht eine detaillierte Bewertung und Analyse der Verkehrsabläufe. Ein Nachteil der Software stellt die Steuerung des gesamten Simulationsprozesses über einen zentralen Simulationskern dar. Dieses Verfahren führt dazu, dass Eingriffe in den Verkehrsablauf wie z.B. Freigaben zum Höhenwechsel, zur Herstellung der Landereihenfolge oder zur Bahnzuweisung nicht immer realitätsnah und zum zeitlich korrekten Zeitpunkt durchgeführt werden. Daraus ergeben sich vor allem Nachteile bei der Simulation der Verkehrsabläufe an stark beflogenen Flughäfen und der Zuordnung von Arbeitsaufgaben zu den entsprechenden Sektoren/Lotsen. Neue Kontrollmethoden und die Darstellung der Auswirkungen neuer technischer Systeme und Funktionalitäten sind mit der TAAM-Software ebenfalls nur begrenzt abbildbar.

Um insbesondere für zukünftige Fragestellungen (zukünftige Kontrollmethoden und technische Unterstützungssysteme) in der Simulation gerüstet zu sein, hat die DFS 2005 die Entwicklung eines neuen Gate-To-Gate Schnellzeitsimulators beauftragt, um die bislang verwendete Simulationssoftware TAAM zu ersetzen. Die Finanzierung des Projekts erfolgte ausschließlich über die Verwendung der für die TAAM-Software geplanten Wartungsgebühren, die nach Kündigung des Wartungsvertrages für die Entwicklung der neuen Software verwendet wurden. Die neue Simulationssoftware AirTop wurde unter Berücksichtigung der vom Fachbereich Schnellzeitsimulationen spezifizierten Anforderungen von der Firma Airtopsoft mit Sitz in Brüssel erstellt. Um eine wirksame Erfolgs- und Qualitätskontrolle zu etablieren, wurde die Gesamtentwicklung in verschiedene Etappen mit entsprechenden Softwareständen unterteilt. Seit November 2009 steht der DFS mit der Abnahme der Version V3 ein vollständiger Gate-To-Gate-Simulator zur Verfügung, der für Luftraum- und Flughafenstudien eingesetzt werden kann.

Objektorientierter und agentenbasierter Simulator

AirTop wurde als objektorientierter und agentenbasierter Simulator umgesetzt. Dank dieser Struktur ist der Simulator im Vergleich zu anderen Schnellzeitsimulationssystemen einfacher wart- und erweiterbar. Da AirTop ein agentenbasierter Simulator ist, wird jede Anweisung an ein Luftfahrzeug in einer Simulation durch Softwareagenten ausgeführt, die die Tätigkeit ihrer realen Vorbilder nachempfinden. Wie in der Flugsicherungsrealität gibt es auch in AirTop unterschiedliche Lotsenrollen oder Aufgabenbereiche, wie z.B. Platzlotsen, Lotsen in der Anflugkontrolle, Planungs- und Radarlotsen, die sich an Hand ihrer Aufgaben unterscheiden. In Abhängigkeit von seinem Einsatzgebiet hat jeder Softwareagent in der Simulation einen begrenzten und

definierbaren Informationshorizont. Die realitätsnahe Verteilung der Arbeitslast und der Informationen auf Softwareagenten erlaubt es, die Arbeitsbelastung und die einzelnen Arbeitsschritte jedes Fluglotsen in der Simulation zu erfassen und damit eine detaillierte Simulationsauswertung durchzuführen. Die klare Trennung der unterschiedlichen Tasks jedes Softwareagenten gestattet es, die Task-Liste zu verändern und damit auch den Nutzen neuer Kontrollmethoden und oder neuer technischer Unterstützungssysteme zu bewerten.

Die grafische Benutzeroberfläche

Alle Simulationskomponenten laufen als eine einzige Applikation, die über eine übersichtliche Benutzeroberfläche steuern lässt (siehe Abbildung 1). Man kann auf der Benutzeroberfläche ein Simulationsprojekt aufbauen, korrigieren, ausführen und auswerten. Da im TAAM-Simulator zur Ausführung diese Aufgaben verschiedene Teilprogramme getrennt voneinander ausgeführt werden müssen, hat die neue Benutzeroberfläche in AirTop einen höheren Bedienungskomfort und eine Verkürzung der Eingabezeit zur Folge.

Bevor die AirTop-Software operationell eingesetzt wurde, erfolgten aufwändige Tests, die mit einer Abnahme und der Anfertigung eines Prüfberichts abgeschlossen wurden [1]. Nachfolgend sind einige Ergebnisse aus der Testphase dargestellt. Dabei erfolgt auch ein Vergleich zur Simulationssoftware TAAM.

Vorgehensweise und Ziele des "Final Acceptance Tests"

Die gesamte Entwicklung des Simulators wurde durch Funktionstests mittels spezieller Testszenarien und Simulationen verschiedener deutscher Verkehrsflughäfen mit unterschiedlichen Landbahnkonfigurationen und deren umgebenden Lufträumen begleitet. Nachdem die korrekte Funktionalität des Simulators mittels dieser Testprojekte erfolgreich nachgewiesen werden konnte, wurden größere, realitätsnahe Simulationsprojekte erstellt werden, um die Funktionalität und Stabilität des neuen Simulators zu testen.

Folgende Kriterien wurden unter anderen untersucht:

- Dateneingabe und Effizienz
- Einhaltung der Übergabebedingungen zwischen Sektoren,
- Stabilität der Software
- Simulationsgeschwindigkeit (Performance)

Dateneingabe und Effizienz

Zur Bewertung des Komforts der Dateneingabe und Datenpflege wurde die Simulationsstudie AmRuFra mit den beiden Simulationsprogrammen TAAM und AirTop aufgebaut. Die TAAM-Simulation wurde ursprünglich zur Optimierung der Luftraumstruktur zwischen den beiden Flughäfen Amsterdam (EHAM) und Frankfurt am

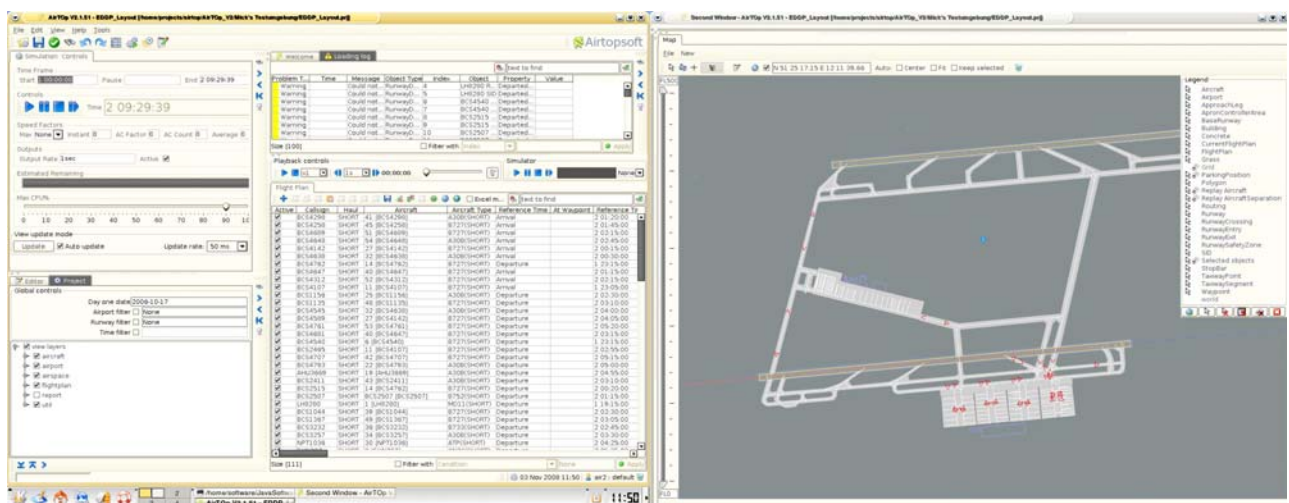


Abbildung 1: Die Benutzeroberfläche von AirTop im Betrieb auf zwei Monitoren (links: Simulationssteuerung und Datenpreparation, rechts: grafische Darstellung mit Interaktionsmöglichkeit)

Main (EDDF) durchgeführt. Einundzwanzig Flughäfen wurden mit An- und Abflugrouten, den sich aus den jeweiligen Pistenkonstellationen ergebenden Abhängigkeiten und den umzusetzenden An- und Abflugstaffelungen eingegeben. Die restlichen kleinen oder außerhalb des Messgebietes¹ liegenden Flughäfen wurden als so genannte "Point Airports" angebunden. Zu den detailliert abgebildeten Flughäfen gehören Amsterdam, Brüssel, Düsseldorf, Frankfurt am Main, Köln und Rotterdam.

Die zweite Testsimulation, die das Simulationsgebiet der Sektoren Thüringen und Sachsen umfasst, wurde ebenfalls parallel mit den Simulatoren TAAM und AirTop aufgesetzt. Der Flughafennahbereich und die An- und Abflugrouten für die Flughäfen Altenburg, Bautzen, Dresden, Erfurt und Leipzig wurden jeweils in beiden Simulatoren deckungsgleich eingegeben. Da beide Simulationen synchron bearbeitet wurden, konnte auch die Dauer, die für die jeweilige Eingabe der Daten benötigt wurde, gut erfasst werden. Wie Tabelle 1 darstellt, konnte die Eingabe der Simulationsdaten trotz der noch geringeren Eingewöhnung in die Software AirTop schneller durchgeführt werden als im TAAM-Simulator, da die Eingabe der Übergabebedingungen und die Qualitätssicherung in AirTop effizienter als im TAAM erfolgen kann.

Simulator	Dauer der Eingabe in Manntagen	Dauer der Beseitigung von Fehlern in Manntagen	Gesamt
TAAM Version 1.3.57	8	2	10
AirTop V2.1.51b	6	1	7

Tabelle 1: Dauer der Eingabe für die Simulation AirTop3

Fazit: Die Eingabe der Simulationsdaten konnte im Vergleich zur TAAM-Simulation effizienter gestaltet werden.

¹ Im Messgebiet werden die tatsächlichen Simulationswerte berechnet, im größeren Simulationsgebiet werden die Flugzeuge z.B. konfliktfrei übergeben.

Einhaltung der Übergabebedingungen zwischen Sektoren

Die Übergabebedingungen zwischen Flugsicherungssektoren, die in den "LoAs" festgelegt sind, werden in AirTop in Form von sogenannten "ATC Sector Entry Rules" abgebildet. In der AmRuFra Simulation wurden über 100 Übergabebedingungen, in der Simulation Thüringen/Sachsen 20 Übergabebedingungen eingegeben und ausgewertet. In Abbildung 2 sind Anflüge zum Flughafen Düsseldorf bis zum Übergang in den unteren Luftraum als "Traffic Density Plot" dargestellt. Eine implementierte Übergabebedingung war das Kreuzen der Flughöhe FL240 am Punkt BADGO. Da die Flugspur entsprechend des dargestellten Höhenbandes FL241 – UNL am Punkt BADGO ausläuft, bedeutet dies, dass sich nach diesem Punkt kein Luftfahrzeug mit Ziel EDDL in FL241 oder höher befunden hat. Die Regel wurde demnach eingehalten. In gleicher Form wurden alle in die Simulation eingegebenen Regeln überprüft.

Fazit: Alle Übergaberegeln wurden fehlerfrei umgesetzt.

Stabilität der Software

Die Eingabe der Simulationsdaten erfolgte während der Erstellung der Testszenarien problemlos. Die anschließende Simulation und deren Auswertung erfolgten lief ohne Störung.

Fazit: Der Simulator läuft stabil.

Simulationsgeschwindigkeit- Performance

In der Spezifikation wurde festgelegt, dass der Simulator ein Verkehrsbeispiel von 5000 Flugbewegungen über einem Zeitraum von 12 Stunden innerhalb von 70 Minuten simulieren kann. Der simulierte Zeitraum der AmRuFra Simulation erstreckt sich über 29h, in denen 6.421 Flugbewegungen stattfinden. Der simulierte Zeitraum der Thüringen/Sachsen Simulation betrug 10 Stunden mit 399 Flugbewegungen. Alle Messungen der Simulator Performance wurden auf derselben Workstation mit einem 64bit 2,6 GHz AMD Prozessor durchgeführt. Ein vollständiger Simulationslauf für die Simulation AmRuFra dau-

erte mit AirTOP etwa 1h und für die Simulation Thüringen/Sachsen 1min. Alle Messergebnisse, also auch die Referenzwerte für den TAAM Simulator, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die geringere Performance von AirTOP liegt in erster Linie an der Interaktion zwischen den Softwareagenten. In TAAM werden alle nötigen Berechnungen von einem zentralen Prozess ausgeführt.

Projekt	Simulator	Rechenzeit	Geschwindigkeitsfaktor im Verhältnis zur Realzeit
Spezifizierte Mindestgeschwindigkeit			10-fach für 5000 Flugbewegungen in 12h
AmRuFra	TAAM	35min	50-fach
AmRuFra	AirTOP	60min	29-fach
Thüringen/Sachsen	TAAM	1min 05sek	600-fach
Thüringen/Sachsen	AirTOP	1min	600-fach

Tabelle 2: Vergleich der Rechenzeit in TAAM und AirTOP

Fazit: Ein Geschwindigkeitsfaktor von etwa 30 für eine Simulation mit 6.421 Flugbewegungen und 50 Sektoren erfüllt die gestellten Anforderungen.

Zusammenfassung

Seit Ende 2009 steht der DFS eine leistungsstarke Simulationssoftware zur Verfügung, die sowohl für Luftraum- als auch für Flughafensimulationen genutzt wird.

Aufgrund des modularen Aufbaus und der agentenbasierten Struktur ist AirTOP leistungsfähiger als herkömmliche Simulatoren. Der Simulator kann Großflughäfen mit abhängigen und unabhängigen Bahnsystemen entsprechend der An- und Abflughafennachfrage dynamisch modellieren. Neue Kontrollkonzepte wie z.B. das „Point – Merge“ Verfahren lassen sich mit AirTOP testen. Nicht zuletzt stellt die mögliche Koppelung des Schnellzeitsimulators mit Unterstützungssystemen wie AMAN oder mit Realzeitsimulatoren ein weiteres neues Anwendungsgebiet mit großem Potential dar.

Inzwischen wurden bereits 15 Schnellzeitsimulationen erfolgreich mit dem Simulator AirTOP abgeschlossen. Die Rückmeldungen unserer Kunden und der mit der Software arbeitenden Simulationsexperten zeigen, dass AirTOP leistungsfähig ist und vielseitig eingesetzt werden kann. Nachdem die DFS als Erstkunde AirTOP operativ eingesetzt hat, sind eine Reihe anderer Simulationsanbieter dem Beispiel gefolgt. Inzwischen nutzen Unternehmen wie Skyguide, AENA, ENAV, NATS, NLR, DLR und Eurocontrol die

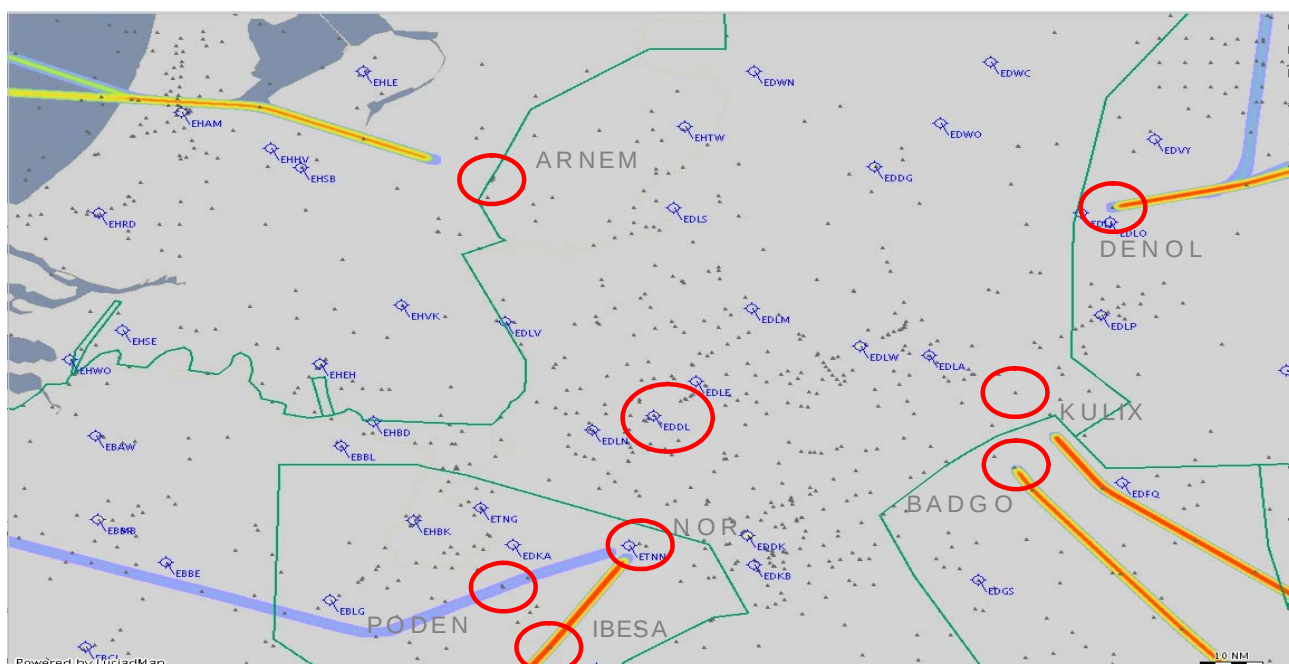


Abbildung 2: Anflüge EDDL bis zum Einflug in den unteren Luftraum

neue Simulationssoftware. Innerhalb kurzer Zeit ist AirTOP in Europa zum Simulationsstandard geworden.

Bis Ende 2010 soll die Funktionalität des Systems weiter verbessert werden. Es ist geplant, dass der Simulator bis dahin von Luftfahrzeugen verursachte Konflikte (Annäherungen unterhalb der Mindeststaffelung), realitätsnah lösen kann. Darüber hinaus soll die Software eine Task-basierte Methode zur Bestimmung der Arbeitslast der Fluglotsen unterstützen.

Referenzen

[1]	16.12.2008	Wolfgang Theeck, Björn Paul: Prüfbericht AirTOP, V2.1
[2]	02.12.2009	Michael Creuzburg, AirTOP Flughafenfunktionalität (Bericht AirTOP 4)

Analyse von ACAS-Ausweichanweisungen am Boden

Harald Fischer, Dr. Andreas Herber (TE/A); Yvonne Graner (CC/FPK)

1. Einleitung

Am 1. Juli 2002 kollidierten in der Nähe von Überlingen/Bodensee zwei Luftfahrzeuge. Eine Boeing 757-200, auf dem Weg von Italien nach Belgien, und eine Tupolew TU 154M, unterwegs von Russland nach Spanien, stießen in einer Höhe von 35.000 Fuß zusammen und stürzten ab. Der Unfall wurde von der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung untersucht. Der Untersuchungsbericht [1] wurde im Mai 2004 veröffentlicht.

Als eine unmittelbare Ursache für den Zusammenstoß wird darin der vom Luftfahrzeugführer der Tupolew eingeleitete Sinkflug aufgeführt, der einer vom an Bord installierten ACAS²-System generierten Ausweichanweisung „Steigen“ entgegen wirkte. Als eine systemische Ursache wird die unvollständige, nicht einheitliche und sogar teilweise widersprüchliche Integration des ACAS-Systems in das System Luftfahrt aufgeführt.

Neben der Ursachenauswertung hat die BFU mit dem Untersuchungsbericht auch mehrere Sicherheitsempfehlungen herausgegeben, um die identifizierten systemischen Schwachstellen zu beseitigen:

BFU Sicherheitsempfehlung 08/2004:

Zur Verbesserung der Arbeit von ACAS sollte die ICAO die Entwicklung initiieren, RA³s an die Flugsicherung unter Nutzung von Technologien wie SSR Mode S und ADS-B zu übermitteln.

Der Bereich F&E der DFS ist seither an verschiedenen Aktivitäten beteiligt, technische Lösungsansätze für die Überwachung des Informationsaustauschs bordautonomer ACAS-Systeme zur Luftverkehrskontrolle zu finden und zu bewerten. Im Teilprojekt SATT (Safety Through Transparency) des 3. Luftfahrtforschungspro-

gramms wurden, gemeinsam mit Industriepartnern und Universitäten, Systeme für den Empfang der ACAS-Signale am Boden entwickelt, mit denen es erstmals möglich war, die Kommunikation zwischen Luftfahrzeugen im Falle einer RA vollständig aufzuzeichnen und auszuwerten.

Angespornt durch diesen Erfolg wurde im Jahr 2009 die Realisierungsphase des DFS-Projekts AMOR (ACAS-Monitor) gestartet und ein bundesweites Sensornetzwerk installiert. Mit diesem Erfassungssystem können objektive Erkenntnisse über Anzahl und örtliche Verteilung von RAs gewonnen werden und möglicherweise Schlüsse für Verfahrens- und Routenplanung gezogen werden. Darüber hinaus soll die Nutzbarkeit dieses Systems für eine Anbindung an ein ATC-System unter technischen Gesichtspunkten bewertet werden.

Diese Arbeiten sind sowohl über die Arbeitspakete 15.4.3 (technischer Aspekt) als auch 4.8.3 (betrieblicher Aspekt) in die Arbeiten der DFS im SESAR Joint Undertaking (SJU) eingebunden [3].

2. Hintergrund

2.1 ACAS

Zum Thema Bordkollisionsschutzsystem sind an vielen anderen Stellen umfangreichere Informationen zu erhalten. Hier soll lediglich eine Beschreibung der in diesem Zusammenhang wichtigsten Funktionen erfolgen. Die Geschichte von ACAS reicht bis in die 50er Jahre zurück. Ausgelöst durch den Zusammenstoß zweier Luftfahrzeuge über dem Grand Canyon 1956 begannen Luftfahrtbetreiber und Organisationen mit der Suche nach einem geeigneten Warnsystem. Ein weiterer Zwischenfall, der Zusammenstoß eines Verkehrsflugzeugs mit einem Kleinflugzeug 1978 in der Nähe von San Diego, veranlasste die FAA eine konkrete Systementwicklung, TCAS⁴, vo-

² Airborne Collision Avoidance System

³ Resolution Advisory, Ausweichanweisung

⁴ Traffic Alert and Collision Avoidance System

ranzutreiben. TCAS wurde so zum Begriff für die damit verbundene Entwicklung und wird im allgemeinen Sprachgebrauch auch heute noch häufig verwendet. In der Standardisierung wird statt dieser auf das Gerät bezogenen Bezeichnung der Begriff ACAS verwendet. Die Kollision zwischen einer DC-9 und einem Privatflugzeug bei Cerritos, Kalifornien, 1986, führte schließlich zu einem Mandat des U.S Kongresses zur Ausrüstung von Luftfahrzeugen mit TCAS-Geräten. In Europa besteht seit 01.01.2000 eine Ausrüstungsverpflichtung für motorbetriebene Flugzeuge mit einem Startgewicht von über 15t oder 30 Passagieren. Zum 01.01.2005 wurde das Mandat auf ein Abfluggewicht von 5,7t oder 19 Passagiere erweitert.

Nachfolgend wird die Funktion des ACAS-Systems, gemessen an seiner Vielschichtigkeit, sehr einfach beschrieben. Eine umfassende Beschreibung findet sich z.B. in [2].

2.2 ACAS-Ortungsfunktion

Ein mit ACAS ausgerüstetes Luftfahrzeug registriert zunächst die in seinem mittelbaren Umfeld befindlichen Flugzeuge, sofern sie mit einem SSR-Transponder ausgerüstet sind. Durch aktive Abfrage dieser Luftfahrzeuge ermittelt ACAS die Entfernung, Höhe und (nur für die Anzeige) relative Richtung zueinander. Aus aufeinander folgenden Abfragen errechnet ACAS die Annäherungsgeschwindigkeit. Aus Entfernung, Höhendifferenz sowie deren Annäherungsgeschwindigkeiten wird die Zeit bis zur dichtesten Annäherung (CPA⁵) bestimmt. Auf Basis dieser Zeit wird eine Verkehrsanzeige (TA) oder Ausweichenanweisung (RA) generiert.

Abhängig von Entfernung und Annäherungsgeschwindigkeit wählt ACAS für jedes identifizierte Luftfahrzeug ein individuelles Abfrageintervall. Dies kann bei (zeitlich) weit entfernten Zielen maximal fünf Sekunden betragen. Nähert sich ein Luftfahrzeug an und wird von der ACAS-Sicherheitslogik als potentielle Bedrohung (Intruder) eingestuft, erhöht sich die Abfragerate auf bis zu eine pro Sekunde.

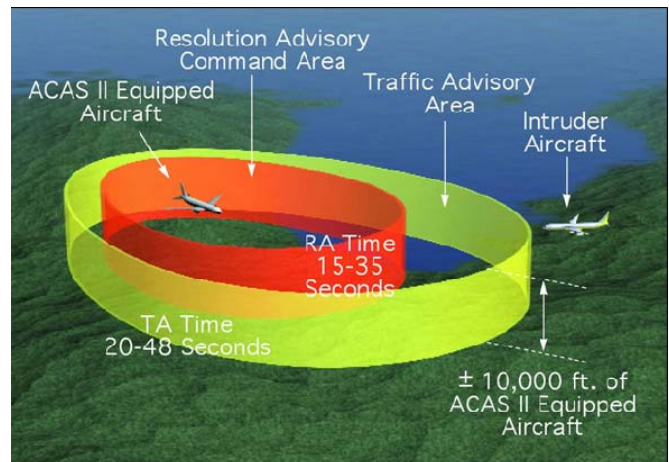


Abb. 1 ACAS-Überwachungsbereiche

2.3 ACAS-Sicherheitslogik

ACAS ist ein zeitbasiertes System. Die Beurteilung der Verkehrs- bzw. Bedrohungssituation, die Grundlage für TA oder RA, wird dabei primär aus der Zeit bis zum CPA und der Zeit bis zum Erreichen der gleichen Höhe abgeleitet. Unterschreitet diese Zeit einen Schwellenwert, bekommt der Pilot eine Verkehrsanzeige, TA, oder schließlich sogar eine Ausweichenanweisung, RA, die der Pilot befolgen muss. Entscheidend ist dabei, eine hinreichende Reaktionszeit für den Piloten zu gewährleisten. Ein Sonderfall sind Szenarien, in denen sich die Luftfahrzeuge sehr langsam annähern, also die Zeitspanne zum CPA trotz geringer Entfernung oberhalb der Schwellenwerte liegt. Für diesen Fall sind Mindestabstände definiert, bei denen eine RA auch dann ausgelöst wird, wenn das Zeitkriterium nicht erfüllt ist.

2.4 ACAS-Kommunikation und Koordination

Im Falle einer RA werden verschiedene Kommunikationsvorgänge aktiviert. Welche das im Einzelnen sind, hängt vom Ausrüstungsgrad der betroffenen Luftfahrzeuge statt. Für die Identifikation von ACAS-Ereignissen am Boden und die Erfüllung der oben genannten BFU-Empfehlung stehen verschiedenen Quellen zur Verfügung:

- RA-Downlink - In jedem Fall wird die RA-Information des ACAS im BDS-Register Nr. 30₍₁₆₎ des Mode S Transponders als „ACAS Active Resolution Advisory“ abgelegt. Wird das betroffene Luftfahrzeug von einer Mode-S Radaranlage im normalen Ortungsbetrieb abgefragt, so wird vom Luftfahrzeug zunächst sig-

⁵ Closest Point of Approach

nalisiert, dass dieses Register eine Information enthält. Die Radaranlage kann nun in einer weiteren Abfrage den Dateninhalt dieses Registers auslesen. Diese Datenübertragung wird als RA-Downlink bezeichnet und findet entsprechend auf dem SSR-Antwortkanal (1090 MHz) statt.

- **RA-Broadcast** - Die im genannten BDS-Register abgelegte Information wird über einen weiteren Kommunikationsvorgang, den RA-Broadcast, übertragen. Der RA-Broadcast wird vom ACAS-System auf der SSR-Abfragefrequenz 1030MHz abgestrahlt und kann somit von umgebenden ACAS-Systemen, nicht aber von Mode-S Radaranlagen empfangen werden. Empfänger für diese Meldungen wurden erstmals durch das Projekt SATT, s.o., bereitgestellt. Der Informationsgehalt des RA-Broadcast stimmt mit dem RA-Downlink überein. Er beinhaltet die Daten aus dem bereits genannten BDS-Register 30₍₁₆₎ (u.a. Ausweichenweisung und rel. Position bzw. Flugzeugadresse des Gegners).
- **RA-Koordinationsmeldungen** - Sind beide Luftfahrzeuge mit einem ACAS-System ausgerüstet, wird die Ausweichenweisung zwischen beiden Flugzeugen koordiniert. Das erste Luftfahrzeug, in dem eine Ausweichenweisung ausgegeben wird, sendet dem „Gegner“ eine sog. „RA coordination message“, die von diesem mit einem „coordination reply“ beantwortet wird. Wählen beide Flugzeuge gleichzeitig die gleiche Ausweichenweisung, invertiert das Flugzeug mit der höheren Adresse seine Entscheidung, um den Konflikt zu lösen.

3 Die PASS-Studie

Die PASS-Studie (Performance and Safety Aspects of Short Term conflict alert - full Study) wurde von EUROCONTROL im Oktober 2007 gestartet. Die Hauptziele von PASS waren die Leistungsanforderungen an ein bodengestütztes Sicherheitsnetz zu ermitteln und ein harmonisiertes Konzept für boden- und bordgestützte Sicherheitsnetze zu definieren. In der ersten Phase des Projektes wurde der aktuelle Status, unter anderem zum RA-Downlink, erhoben [5]. Hierzu wurden in einer 6 Monate andauernden Messkampagne die Mode-S Daten von sechs Radaranlagen aufgezeichnet, darunter 350.000 RA-Downlink-Meldungen, und anschließend umfassend analysiert. Da der RA-Downlink ein potentieller Kandidat für die technische Umsetzung der BFU-Empfehlung ist, wird nachfolgend kurz auf die diesbezüglich relevanten Ergebnisse der PASS-Studie eingegangen.

3.1 Ergebnisse der PASS-Studie

Die Analysen der gemessenen ACAS-Ereignisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der größte Anteil der RA-Downlink-Daten (96%) beinhaltet leere RA-Felder. Durch Simulationen wurde ermittelt, dass diesen leeren Meldungen keine aktiven ACAS-Ereignisse zugeordnet waren, an Bord des Luftfahrzeuges folglich keine RA aktiv war. Derartige Meldungen stellen zwar eine unnötige Belastung der Radarkanäle dar und sollten unterdrückt werden, einer Nutzung des RA-Downlink stehen sie jedoch nicht entgegen, da sie durch ein Bodensystem eindeutig von echten Alarmen unterschieden werden könnten.

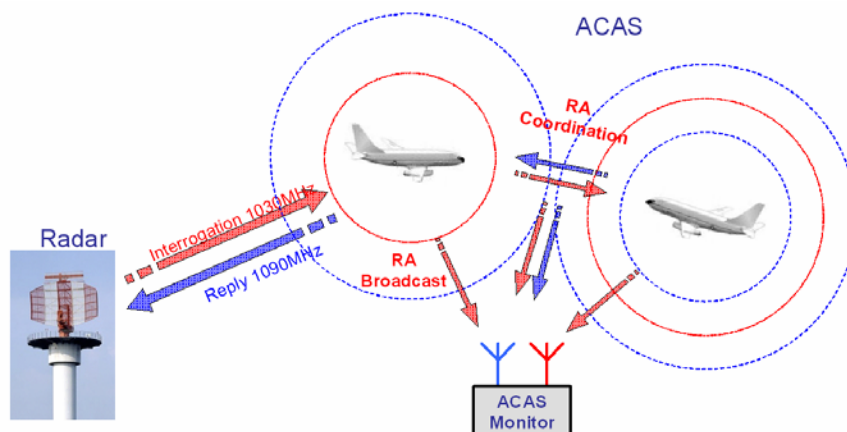


Abb. 2: Radar- und ACAS-Signale

- Abhängig von der Ausrüstung des beobachteten Flugzeuges wird im RA-Downlink dessen Mode S-Adresse oder die relative Position und Höhe zum bedrohten Flugzeug übertragen. Diese Information war in 40% der Ereignisse fehlerbehaftet oder leer.
- Es existieren zwei unterschiedliche Kodierungen für

das RA-Feld. Die Information, welche Kodierung vorliegt, war in 5% der Fälle nicht korrekt.

- Ein Teil der ACAS-Ereignisse (7%) konnte fehlerhaften Installationen zugeordnet werden, z.B. Sprünge in der Höhencodierung oder Abfrage des eigenen Mode S-Transponders.
- Die mittlere Updaterate der RA-Downlink Daten bei aktiven Ausweichenweisungen lag bei 5 Sekunden, bei einem Viertel der Ereignisse bei 3 Sekunden.

3.2 Fazit für DFS

Die gefundenen Punkte schließen eine Nutzung des RA-Downlinks als Technologie für eine RA-Nutzung in Bodensystemen zwar nicht aus, müssten jedoch bei Implementierung und Nutzung entsprechend berücksichtigt werden. Die fehlerbehaftete Identifikationsinformation beispielsweise lässt die Kennzeichnung des Gegners alleine auf Basis der RA-Downlink-Daten nicht zu und die mittlere Updaterate von 5 Sekunden ist deutlich zu groß, um die von der DFS von betrieblicher Seite geforderte maximale Verzögerung von 2 Sekunden zwischen der Anzeige an Bord und der Information des Fluglotsen zu realisieren.

4 Der DFS-Ansatz

Der BFU Sicherheitsempfehlung folgend, werden von der DFS zwei komplementäre Ansätze verfolgt:

- Offline-Analyse (Vorfalluntersuchung): Hierzu werden die verfügbaren Informationen zu ACAS-Ereignissen, RA-Downlink, RA – Broadcast und RA-Koordinationsmeldungen, herangezogen.
- Online-Nutzung: Der RA-Broadcast wird unmittelbar mit dem Entstehen einer Ausweichenweisung abgestrahlt. Damit ist es, zumindest theoretisch, möglich, quasi zeitgleich mit der RA-Anzeige an Bord des Luftfahrzeuges eine zugehörige Information am Lotsenarbeitsplatz anzuzeigen. Dazu müssen allerdings mit betrieblicher Beteiligung geeignete Filterkriterien definiert werden, um irrelevante oder fehlerhafte Information zu unterdrücken und das Situationsbewusstsein nicht unnötig zu beeinträchtigen.

4.1 Das Projekt AMOR

Im Projekt AMOR wird die Infrastruktur realisiert, mit der die Aufzeichnung der ACAS-Kommunikation zwischen Luftfahrzeugen und des RA-Broadcasts bundesweit möglich ist. Ferner werden Schnittstellen zu DFS-Systemen bereit gestellt, die zur Vorfalluntersuchung genutzt werden, z.B. ASMT (ATC Safety Monitoring Tool). Die Performance des Sensorverbundes wird bezüglich seiner Nutzbarkeit für ATM-Systeme bewertet [4].

4.2 Ausbaustand

Aktuell sind Sensoren an sechs DFS-Standorten installiert und in Betrieb: Laage, Dresden, Düseldorf-Breitscheid, Wasserkuppe, Langen und Moosburg. Zusätzlich werden Daten eines von der Firma Thales Deutschland in Schwäbisch-Hall betriebenen Sensors genutzt (s. Abb. 3). Der Start wurde in Langen im Rahmen des SATT-Projektes 2008 gemacht, der aktuell letzte Sensor wurde im März auf der Wasserkuppe installiert. Mit diesen Sensoren können die ACAS-Daten nahezu bundesweit ab Flugfläche 100 empfangen werden. Teilweise ist der Empfang auch in deutlich niedrigeren Höhen möglich, etwa im Approachbereich Frankfurt und München.

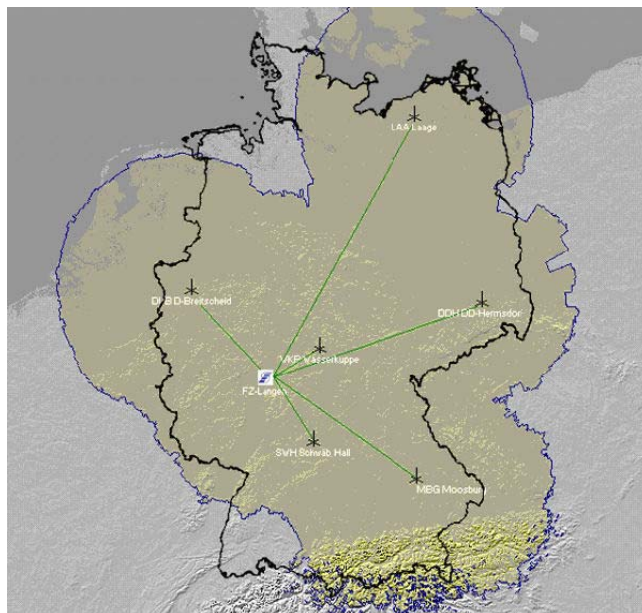


Abb. 3 Sensorstandorte und Empfangsbereich für RA Broadcast-Meldungen ab FL 100

Im Projekt AMOR wird momentan eine umfangreiche Datenbasis geschaffen. Weiterhin werden

Analysetools entwickelt, um die technische Leistungsfähigkeit eines auf RA-Broadcast und RA-Kommunikationsmeldungen basierenden Sensornetzwerkes bewerten zu können.

4.3 Analysetools

Für die gesammelten Daten wurden im Rahmen von studentischen Praktika mehrere Analysetools entwickelt. Im Zeitraum 01.11.2009 bis 31.03.2010 entstanden so verschiedene Softwaremodule mit dem Ziel, die in der PASS-Studie für den RA-Downlink formulierten Ergebnisse im deutschen Luftraum, bzw. auf Basis der DFS Mode-S Daten, zu überprüfen. Schwerpunkt ist derzeit noch die Offline-Analyse von ACAS-Ausweichanweisungen, Aspekte einer Online-Nutzung werden in Kap. 4.5 beleuchtet.

- **ELIGO:** Am 01.11.2010 startete die erste Entwicklungsstufe im Rahmen einer Praktikumsarbeit. Dazu wurden systematisch RA-Downlink-Daten aus dem DFS Test-Radnet gesammelt (ELIGO, lat., ich sammle).
- **CAT48_Parser:** Da ELIGO rasch Fortschritte machte, wurde der nächste Schritt in der Analyseketten vollzogen. Die im Asterixformat vorliegenden Daten (CAT48) waren zu dekodieren und für den Menschen lesbar abzuspeichern. Mit diesen beiden Tools und ein wenig Handarbeit war es möglich, die Daten des AMOR-Netzwerks mit denen aus dem Test-Radnet zu vergleichen. Die Voraussetzung für eine weitergehende RA-Downlink Analyse war geschaffen.

RADLANA (RA-DownLink Analyzer): Im Rahmen einer weiteren studentischen Arbeit eines Informationstechnikstudenten der Berufsakademie Mannheim wurde vor kurzem ein Softwaretool für die Analyse des RA-Downlinks fertig gestellt. Das mit JAVA entwickelte Tool präsentiert Ergebnisse durch auto-

matisch generierte Diagramme, deren inhaltlicher Rahmen durch die PASS-Studie vorgegeben ist (s. Abb. 4).

4.4 Ergebnisse RA-Downlink

Die nachfolgend dargestellten Zwischenergebnisse, die mit den oben beschriebenen Tools gewonnen wurden, basieren auf Daten vom 01.01. bis 31.03.2010; eine Datenaufzeichnung und -auswertung findet weiterhin statt. Die RA-Downlink Daten aller von der DFS betriebenen Mode S Radaranlagen wurden in die Analyse einbezogen. Im Analysezeitraum wurden insgesamt 130.135 Telegramme empfangen.

Noch während der Datensammlung und vor Fertigstellung der eigentlichen Analysesoftware wurden die Daten ersten Prüfungen unterzogen. Dabei wurde deutlich, dass der größte Teil der empfangenen RA-Downlink Telegramme von zwei Mode S-Adressen, Testadressen der DFS, gesendet werden. Hinter den beiden Adressen verbergen sich so genannte Farfieldmonitore zur Überwachung von Radaranlagen. Diese Telegramme wurden in die Analyse nicht einbezogen. Abzüglich dieser Daten wurden 34.197 Telegramme analysiert, die 1.190 Ereignissen zugeordnet waren.

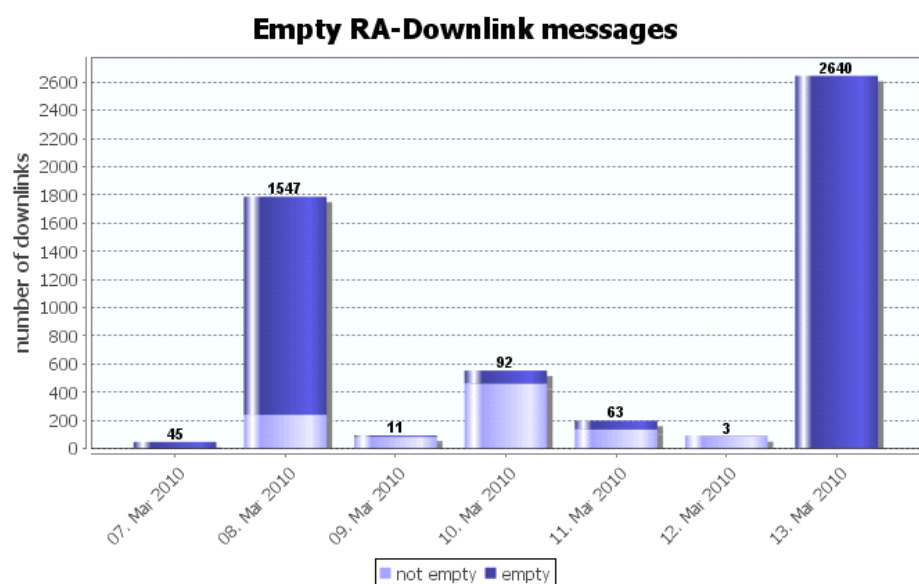


Abb. 4: Häufigkeit von leeren RA-downlink-Meldungen

4.4.1 Leere Telegramme

Der nächste Schritt wurde mit der entwickelten Software durchgeführt. Das Ergebnis der PASS-Studie, dass etwa 95% der RA-Downlink Telegramme keine Information enthalten, wurde überprüft. Hierzu wurde der Anteil leerer Telegramme der Summe der empfangenen Telegramme tageweise gegenüber gestellt. Abb. 4 zeigt einen Teil der Ergebnisse für den Zeitraum 7.-13.März 2010.

Dabei fällt auf, dass an zwei der sieben Tage außergewöhnlich viele leere Telegramme empfangen wurden. Diese Tage wurden einer detaillierten Analyse unterzogen.

Ein Ergebnis war schnell gefunden. An den betroffenen Tagen wurden mehrere Ereignisse mit einer Dauer von vielen Minuten bis Stunden gefunden, die jedoch keine Information beinhalten, folglich zu der Kategorie leere RA zählen. Die betroffenen Luftfahrzeuge signalisieren den Radaranlagen fälschlicherweise ein gefülltes BDS30₍₁₆₎- Register, was zur Abfrage durch die Radaranlage führt. Dieses Phänomen wurde bereits in der PASS-Studie dokumentiert und nun bestätigt. Im Untersuchungszeitraum wurden 5 Luftfahrzeuge mit diesem Verhalten identifiziert, 4 davon konnten einem einzigen Betreiber zugeordnet werden.

Die verbliebenen leeren RAs wurden stichprobenartig betrachtet, wodurch ein weiteres, bereits aus der PASS-Studie bekanntes, Phänomen identifiziert werden konnte: Während des gesamten Ereignisses ist das „termination bit“ gesetzt. Gemäß Spezifikation wird dieses Bit für eine Dauer von 18s aktiviert, *nachdem* die RA zurückgesetzt wurde. Ein Erklärungsansatz ist, dass aufgrund von Timingfehlern eine RA in der TCAS-Logik bereits zurückgesetzt wird und als terminiert eingestuft wird, bevor Sie in den Registern als aktiv registriert wurde.

Von den 25.832 leeren Telegrammen konnten 91% entweder dieser Kategorie oder den o.g. 5 Luftfahrzeugen zugeordnet werden. Die verbliebenen leeren RA-Downlink-Meldungen wurden nicht weiter betrachtet.

Die Zusammensetzung der empfangenen Telegramme zeigt Abb. 5.

Zusammensetzung der empfangenen Telegramme

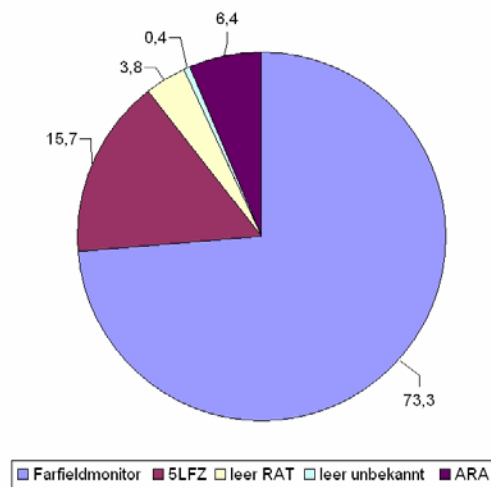


Abb. 5: Ursprung der empfangenen Telegramme

4.4.2 Kategorisierung der ACAS-Ereignisse

Nach der Datenauswertung auf Basis einzelner Telegramme wurden mit Hilfe des RADLANA Tools die zueinander gehörigen Telegramme zu sogenannten ACAS-Ereignissen zusammen gefasst. Die Kriterien für die Klassifizierung mehrerer Telegramme zu einem Ereignis waren eine zeitlich kontinuierliche Telegrammfolge und die beteiligten Luftfahrzeugadressen. Die Daten der Farfieldmonitore wurden nicht berücksichtigt. Die verbleibenden 34.197 Telegramme konnten auf diese Weise zu 1.190 Ereignissen zusammen gefasst werden. Diese Ereignisse wurden wie folgt unterschieden.

- **leer:** Das Ereignis besteht ausschließlich aus leeren Telegrammen
- **GFD:** Die Gesellschaft für Flugzieldarstellung mbH (GFD) führt in ihrem regulären Betrieb häufig Manöver aus, bei denen eine RA ausgelöst wird. Auf Basis der bekannten Mode S - Adressen der GFD-Flotte konnten diese Ereignisse mit dem RADLANA Tool extrahiert werden (black list).
- **korrekt:** Bedingungen für ein vollständiges Ereignis waren mindestens ein aktives RA-Telegramm und mindestens 2 RAT- Telegramme („RA terminated“, wird gesetzt, wenn eine Ausweichenweisung beendet wurde).

- **unvollständig:** In dieser Kategorie finden sich einige weitere Ereignisse, die aufgrund der geflogenen Manöver als „vorhersehbar“⁶ bezeichnet werden müssen, z.B. bei militärischen Manövern wie Formationsflug und Luftbetankung. Ereignisse, die am Rand der Radarabdeckung stattfinden, fallen ebenso in diese Kategorie.

Demnach wurden im Zeitraum 01.01.2010 - 31.03.2010 von den DFS-Mode S Radaranlagen 330 ACAS-Ereignisse registriert, die nach obiger Definition als korrekt eingestuft wurden. Da mit Hilfe der entwickelten Softwaretools keine weitere Filterung und Klassifizierung möglich war, wurden die Datensätze stichprobenartig weiteren Prüfungen unterzogen.

Zusammensetzung der empfangenen Ereignisse

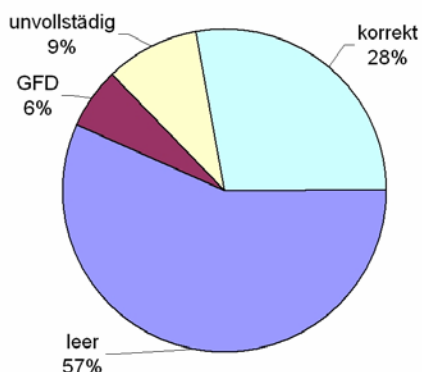


Abb. 6: Zusammensetzung der empfangenen Ereignisse

4.4.3 Fehlfunktionen

Die Erkenntnis aus der Telegrammanalyse, dass relativ wenige Luftfahrzeuge durch Fehlfunktion zu einem großen Teil der leeren Telegramme beitragen, führte zu der Idee, in den Ereignissen die Häufigkeit einzelner Mode S Adressen zu prüfen. Das Ergebnis war, dass bei 80 der 330 als korrekt eingestuften Ereignisse Luftfahrzeuge mehr als einmal beteiligt waren. Exemplarisch wurde ein Fall, bzw. die Ereignisse eines Luftfahrzeugs, detailliert betrachtet.

Dieses Luftfahrzeug war in dem untersuchten Zeitraum 12-mal in ein ACAS Ereignis involviert. Die Ereignisse wurden von unterschiedlichen Radaranlagen, an unterschiedlichen geographischen Regionen und in unterschiedlichen Flug-

Verteilung Aktualisierungsrate

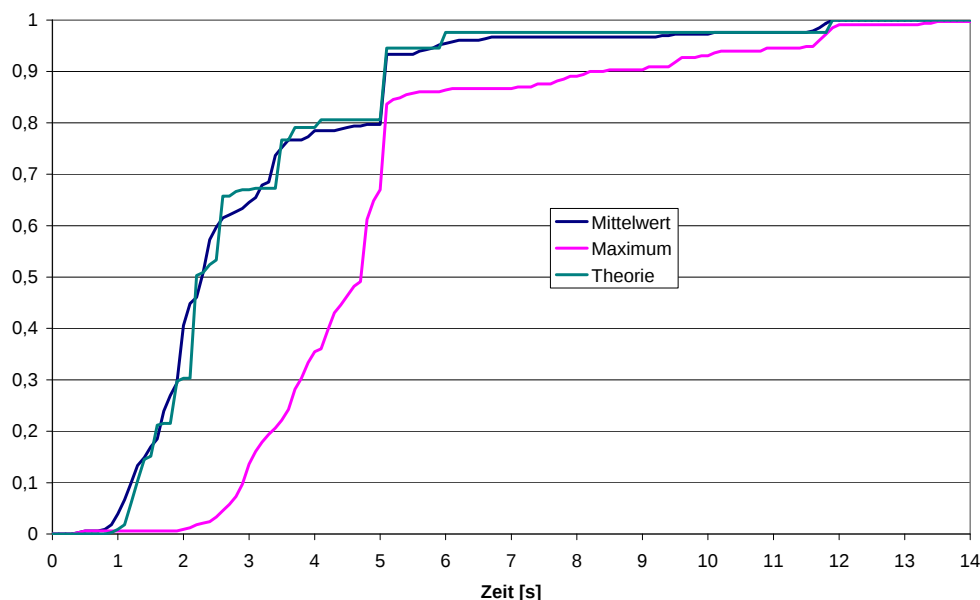


Abb. 7: Verteilung Aktualisierungsrate von RA-Downlinks (Daten aller von der DFS betriebenen Radaranlagen)

⁶ in den Studien wird dafür der Begriff „intentional“ verwendet

flächen registriert. Allen Ereignissen gemeinsam war, dass das TCAS-System zu Beginn der RA in Betrieb war und im Verlauf deaktiviert wurde. Dieser Umstand und der Dateninhalt des BDS-Registers weisen auf eine Fehlfunktion des TCAS-Systems oder des Mode S Transponders hin. Weitere Einzelfälle konnten im Rahmen der Auswertung nicht durchgeführt werden, es ist aber sehr wahrscheinlich, dass bei entsprechendem Aufwand weitere Ereignisse auf Fehlfunktionen zurück zu führen sind.

4.4.4 Aktualisierungsrate

In die Analyse der Aktualisierungsrate von RA-Downlinks wurde nur der Teil der Ereignisse einbezogen, die im vorigen Abschnitt als korrekt eingestuft wurden.

Für alle Ereignisse wurden die gemessene Aktualisierungsrate, die aufgrund der Radarkonfiguration theoretisch mögliche Aktualisierungsrate und das maximal aufgetretene Aktualisierungsintervall einander gegenübergestellt. Die theoretisch mögliche Rate wurde dabei aus der Summe beteiligten Radaranlagen, bzw. deren Drehzahlen errechnet. Abb. 7 zeigt die Verteilung dieser Größen. Theorie und Messung stimmen bei der mittleren Aktualisierungsrate gut überein, Abweichungen ergeben sich aufgrund der jeweils relativ kurzen Beobachtungsintervalle für Einzelergebnisse und sind erklärbar. Die Verteilung der maximal aufgetretenen Aktualisierungsintervalle ist deutlich zu größeren Zeiten hin verschoben. Charakteristisch bei allen Kurven ist der Verlauf um den Bereich von 5 Sekunden. 95% der Ereignisse wurden folglich von mindestens einer Radaranlage mit einer Drehzahl von höchstens 5s erfasst, in 85% der Fälle war dies auch das maximale Updateintervall.

4.5 Ergebnisse RA-Broadcast

Da der letzte Sensor zur Erfassung der RA-Broadcasts erst im März dieses Jahres installiert wurde, liegen zu diesem Bereich derzeit noch keine vergleichbaren Ergebnisse vor. Im Herbst dieses Jahres sind jedoch Flugversuche mit der GFD (Gesellschaft für Flugzieldarstellung) vorgesehen, in deren Rahmen eine Performancebewertung des Sensor-Netzwerks möglich ist. Über die Ergebnisse wird zu gegebener Zeit berichtet werden.

4.6 Betriebliche Nutzung RA-Downlink ⁷

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

In vorigen Abschnitten wurde erläutert, dass die technischen Voraussetzungen für eine verhältnismäßig rechtzeitige Anzeige einer Ausweichempfehlung am Lotsenarbeitsplatz in naher Zukunft verfügbar sein dürften.

Die betrieblichen Aspekte dieser Lösung sind jedoch noch weitestgehend unklar (z.B. „was wird wann und wie dargestellt?“, „wie ist mit der Information umzugehen?“). Im ersten Schritt fanden zu diesem Thema Arbeiten im EUROCONTROL FARADS-Projekt statt [6]. Nachfolgend wurden durch die SPIN-SG, unter weltweiter Einbeziehung von ANSPs, Industrie, sowie Lotsen- und Pilotenverbände, zwei RA-Downlink Workshops durchgeführt.

Die SPIN-SG wird sich als Expertengremium weiterhin mit den offenen Punkten zum Thema RA Downlink beschäftigen und Empfehlungen in das SJU WP 4.8.3 einfließen lassen. Des Weiteren wurde eine Arbeitsgruppe (Teilnehmer sind ANS Ungaro Control, DFS und EUROCONTROL) etabliert, die bereits gesammelte Erfahrungen der tschechischen und ungarischen Kollegen ausarbeiten, um mögliche künftige Arbeitsweisen aufzeigen.

Im SJU-Arbeitspaket WP 4.8.3 werden von der DFS die gesammelten und (technisch) analysierten Daten aus betrieblicher Sicht bewertet, ein europäisch gültiges Betriebskonzept erarbeitet und in Simulationen mit einem mock-up aus Nutzersicht überprüft. Dieses mock-up muss sowohl HMI-Aspekte als auch Anforderungen nach Unterdrückung irrelevanter Fälle berücksichtigen.

⁷ steht hier als Synonym für alle Arten der Datenübertragung vom Flugzeug zum Boden

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die installierte Infrastruktur und die entwickelten Tools ist es möglich, die im deutschen Luftraum auftretenden RAs detailliert zu analysieren. Die Software ermöglicht es, eine Vielzahl von Datensätzen automatisch zu analysieren, jede weiterführende Untersuchung der Daten ist jedoch extrem zeitaufwändig. Für eine kontinuierliche Analyse des RA-Downlink sollten weitere Filtermöglichkeiten in das Tool RADLANA integriert werden.

Für den Verantwortungsbereich der DFS wurde erstmals eine flächendeckende Analyse der Qualität des RA-Downlink durchgeführt. Insbesondere die Zahlen zur Aktualisierungsrate geben einen, nun messtechnisch überprüften, Hinweis auf die erreichbaren Leistungsgüteparameter des RA-Downlink bei gegebener Mode S Infrastruktur. Der Umfang der Datenbasis ist hierfür sicher ausreichend.

Die maximal zu erwartende Aktualisierungsrate lässt eine alleinige Nutzung des RA-Downlink für eine zeitkritische, betriebliche Nutzung eher unwahrscheinlich erscheinen. Die Nutzung des RA-Broadcast und der RA-Kommunikationsmeldungen bietet dagegen in dieser Hinsicht eine erhebliche Verbesserung. Nimmt man die Vorteile beider Technologien, die vollständige Überdeckung durch Mode S-Radar beim RA-Downlink und die Performance des RA-Broadcast in Bezug auf Echtzeitfähigkeit, scheint eine Kombination beider Verfahren zukunftsweisend.

Die Arbeitspakete 4.8.3 und 15.4.3 sind seit kurzem vom SJU genehmigt worden und nehmen jetzt ihre inhaltliche Arbeit auf. Damit ist gewährleistet, dass die technischen Erfahrungen in die Erstellung eines Betriebskonzepts, unter enger Einbeziehung der SPIN-SG, und die vorgesehenen Arbeiten an einem experimentellen Lotsenarbeitsplatz erfolgen können.

Referenzen

[2]	Mai 2004	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung: Untersuchungsbericht; AX0001-1-2/02
[2]	November 2000	U.S. D.o.T.; Introduction to TCAS II Version 7
[3]	01.12.2009	Dr. Matthias Poppe, Dr. Konrad Hagemann, Oliver Haßa, Stefan Leschner: Der TE-Beitrag zum SESAR Joint Undertaking, TE im Fokus 2/09
[4]	12.12.2007	Dr. Roland Mallwitz, Harald Fischer, „ACAS Broadcast“-Monitor – Stand der Arbeiten, TE im Fokus 2/07
[5]	24.10.2008	Analysis of RA Downlink Data, EUROCONTROL, PASS Project
[6]	14.05.2007	FARADS (Feasibility of ACAS RA Downlink Study), Close-out report, EUROCONTROL

Abkürzungen

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
BDS	Binary Data Store
CPA	Closest Point of Approach
CWP	Controller Working Position
FAA	Federal Aviation Authority
FARADS	Feasibility of ACAS RA Downlink Study.
HMI	Human Machine Interface
PASS	Performance and Safety Aspects of Short term conflict alert - full Study
RA	Resolution Advisory
RAT	Resolution Advisory Terminated
SATT	Safety Through Transparency
SPIN-SG	Safety nets: Planning, Implementation and eNhancements - subgroup
SSR	Secondary Surveillance Radar
TA	Traffic Advisory
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System

Evaluation of ADS-B data performance in radar environment using wide area multilateration systems

Stefan Stanzel (TE/A)

Abstract⁸ — The main objective of the evaluation of Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) data performance in radar environment using wide area multilateration systems is the determination of accuracy, integrity and reliability of the ADS-B data in comparison with data provided by conventional radar and multilateration systems.

I. INTRODUCTION

A common approach from an existing cooperative independent surveillance infrastructure (mode A/C/S radar) towards a cooperative dependent surveillance infrastructure (ADS-B) foresees the introduction of multilateration systems as a significant intermediate step. Therefore, currently the first Wide Area Multilateration (WAM) systems are being deployed in Europe. In addition to their primary purpose to provide surveillance information based on multilateration techniques, the WAM systems provide the capability of receiving ADS-B data as an add-on service. The ADS-B data are received from the remote units of the WAM sensor system and relayed to the central target processor. The target processor filters the ADS-B data in order to suppress duplicates, outdated information or geographical areas and provides a single ADS-B data stream to the surveillance data processing system.

Compared to single ADS-B Sensor a WAM system consists of a redundant array of ADS-B receiving systems, which is designed to improve the reliability of the ADS-B system and the robustness against disturbances. The WAM build-in verification function of ADS-B against multilateration data shall ensure that only valid ADS-B data are provided to the surveillance data processing systems.

In addition to built-in functions provided by a WAM sensor system separate data performance analysis tools allow e.g. to measure the ADS-B probability of detection and coverage range as well as the monitoring of quality indicators.

In order to determine which surveillance technology might be suited best for German airspace in the future, the foreseen functional enhancements of the ATM system as such have to be known. This then allows matching the specific system properties of the candidate surveillance options with the required ATM functional requirements (see Figure 1).

A DFS internal project “ADS-B Data Evaluation” was launched in July 2009 in order to evaluate if ADS-B data could be used for separation purposes within the existing surveillance infrastructure (multi radar and ATM system). The evaluation of the ADS-B data performance shall prove if ADS-B could be used in radar like environment to complement or to replace existing surveillance systems. Furthermore the evaluation of ADS-B data performance in radar environment using WAM systems investigates the influence on safety and security related issues compared to a single ADS-B receiver system.

Phase	Year	Technology	Remarks
1	2006	PSR, MSSR, Mode S	Detection + Identification
2	2009	PSR, MSSR, Mode S; PAM, MLAT; (ADS-B)	PAM, MLAT = „gap filler“ ADS-B = experimental (small scale)
3	2010	PSR, MSSR, Mode S; MLAT, WAM; (ADS-B)	RMCD, ARTAS = MLAT(+ ADS-B) compatible, ADS-B = experimental (large scale)
4	2015	PSR, Mode S; MLAT, WAM; ADS-B	Successive removal of MSSR, ADS-B getting into operational use
5	2020	PSR (Mode S collocated); MLAT, WAM; ADS-B	
6	2025	PSR; MLAT, WAM; ADS-B	PSR functionality not necessarily being based on radar technology

Remarks:

- ADS-B link according to international recommendations (= 1090 MHz Extended Squitter)
- MLAT and ADS-B using the same ground infrastructure
- MLAT being used earlier for airport surface surveillance

ARTAS = ATM surveillance tracker and server
PAM = precision approach monitor
RMCD = radar message conversion and distribution equipment
WAM = wide-area multilateration

Fig. 1: The DFS surveillance strategy foresees a stepwise transition towards the use of ADS-B in German airspace in the timeframe from today until the year 2025.

⁸ Dieser Artikel wurde auf dem DGON-Symposium "Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance and Applications" (ESAVS 2010) in Berlin veröffentlicht

The standards for the application ADS-B in a radar environment (e.g. EUROCAE ED-161) presently become available. The validation of these standards in an operational context still needs to be performed.

II. Surveillance Functional Architecture

Figure 2 below presents the generic Surveillance Functional Architecture [1] to support all Package 1 applications. The figure identifies the Aircraft Domains and the Ground Domain associated with ADS-B enabled Ground and Airborne Surveillance Applications. The Aircraft Domain consists of the Transmit Aircraft Domain and the Receive Aircraft Domain. The Transmit Aircraft Domain represents the functions associated with providing the ADS-B-OUT capability needed to support ground-based or aircraft-based surveillance applications. The Receive Aircraft Domain provides the ADS-B-IN capability to host airborne surveillance applications. The Ground Domain represents the capability to host ground-based surveillance applications in support of Air Traffic Services.

Figure 2 also identifies the system functions (labeled ovals and rectangles) and functional interfaces (vertical lines labeled with letters and numbers, e.g., B1) associated with the Aircraft Domain and the Ground Domain. General functional capabilities and key aspects of the architecture are specified below.

For the Ground Domain:

- The minimum functional architecture of the Ground Domain includes an ADS-B Receive function, ATC Processing function, and an ATC

Surveillance Data Display function;

- Requirements allocated to the Ground Domain begin at interface D, i.e., the Ground Domain performance must take into consideration all aspects after the transmission of ADS-B data including time between transmission and reception, terrain, and atmospheric conditions.

For the Transmit Aircraft Domain:

- The minimum Surveillance functional architecture includes onboard aircraft sensors and associated processing (represented by the Surveillance Transmit Processing Function, STP), and the subsequent encoding of ADS-B messages to be transmitted (represented by the ADS-B Transmit Function);
- Requirements allocated to the Transmit Aircraft Domain are expressed from the measurement or data provision level (interface A1, e.g., for positioning data or pilot control panel inputs) through the transmission of the data (interface D);
- The SSR Interrogation Reply capabilities as shown in Figure 2 are part of the ADS-B-RAD application because of the inherent application requirement of the Transmit Aircraft Domain providing both ADS-B and radar (Mode A/C or Mode S) surveillance capabilities.

In the scope of the DFS "ADS-B Data Evaluation Project" the ADS-B Transmit Aircraft Domain is treated as a „black-box“ system, because of the unavailability of the internal functions and interfaces from the viewpoint of the ground receiving system. The Ground Domain is limited in accor-

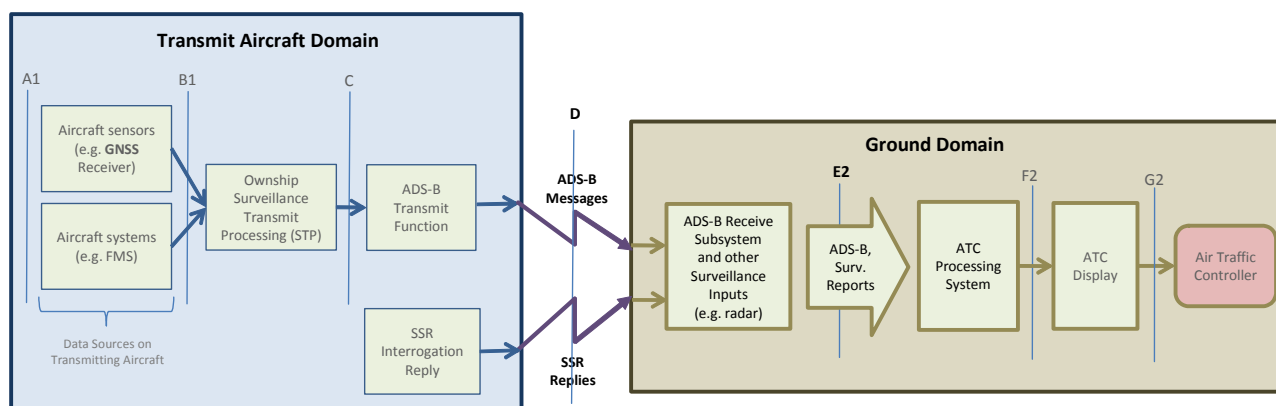


Fig. 2: Generic ADS-B functional architecture for ADS-B Data Evaluation

dance to the receiving and data distribution functions, because of the focus of the ADS-B data evaluation on the analysis of the data provided by the surveillance sensors.

III. VALIDATION

The applied validation approach of the ADS-B Data Evaluation is in line with European Operational Concept Validation Methodology (EOCM) [7].

A. Validation techniques and tools to be used

The following techniques will be used to enable the validation of ADS-B-RAD application:

- Studies
- Field tests using opportunity traffic
- Pre-operational trials with pioneer airlines

The tools to be used include EUROCONTROL SASS-C (incl. MLAT and ADS-B) and AV Tool and DFS ADS-B Suite (Rawdata Analyzer and PHOENIX AWP). Integration with the local systems will be required.

B. Validation approach

The validation work will aim to prove that the validation objectives are met using mainly the following configuration:

- Local validation for/in representative ECAC sites (Frankfurt Approach), covering the scope of this application, involving opportunity traffic or pioneer airlines and supported by the local infrastructure (PAM-FRA WAM Sensor)

The type of airspace which should primarily be addressed is:

- Continental with high-density traffic respectively

C. Validation schedule

The pre-operational validation to support commitment and implementation planning will take place in the period 2010-2011.

D. Design of DFS ADS-B Validation Platform

The Figure 3 illustrates the message flow within the DFS ADS-B Validation Platform. The DFS Surveillance Environments provides the surveil-

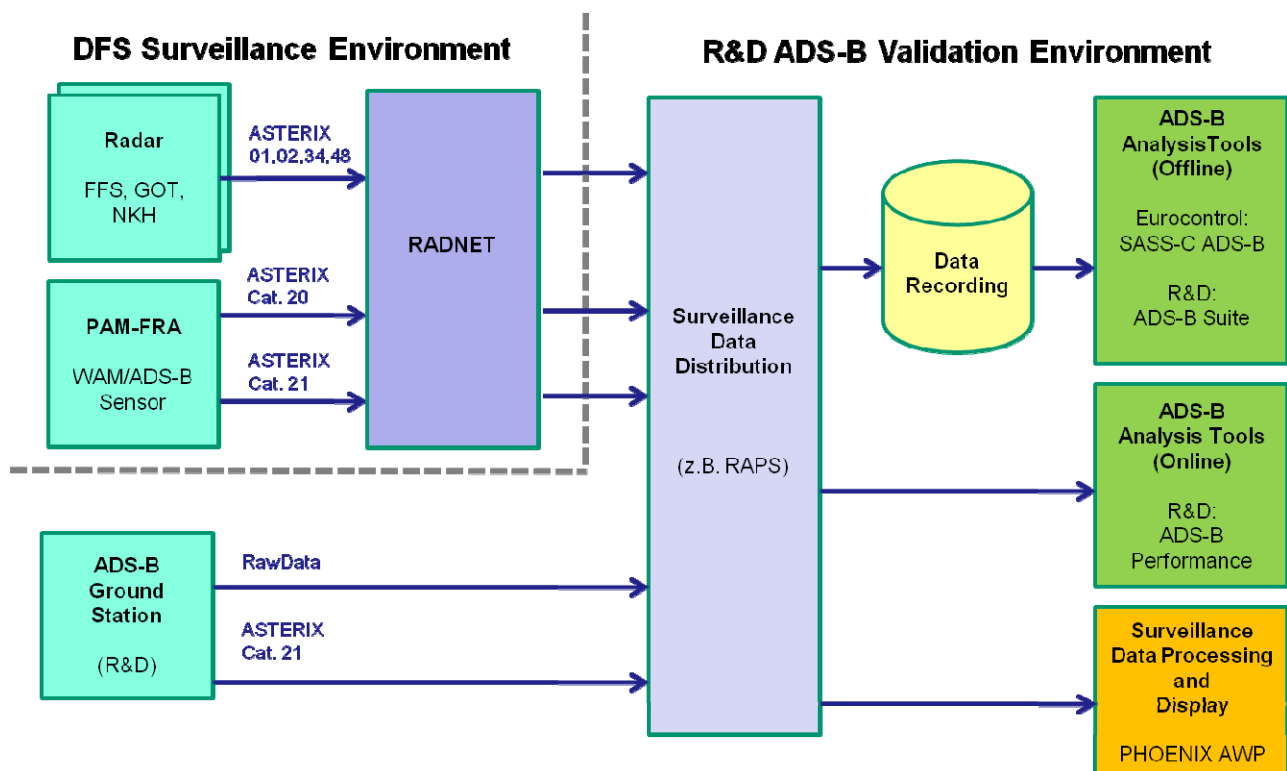


Fig. 3: Design of DFS ADS-B Validation Platform

lance data from radars (MSSR, SSR Mode S) and a Wide Area Multilateration system (PAM-FRA WAM Sensor). The surveillance data were distributed using the RADNET (to be precise the TEST-RADNET in the scope of the ADS-B Data Evaluation Project). The DFS R&D ADS-B Validation Environment is connected to the RADNET in order to retrieve all relevant information for further data recording and analysis.

The R&D ADS-B Validation Environment [2] collects the surveillance information provided by the DFS operational surveillance systems (radars and WAM sensor) as well as from the Reference ADS-B Ground Station. The surveillance information is therefore relayed in a first instance to all relevant parts of the R&D ADS-B Validation Environment, which are the data recording and analysis systems.

E. Reference ADS-B Ground Station

An ADS-B Reference Ground Station is operated in the DFS R&D ADS-B Validation environment in order to provide additional information, which could not be provided by the PAM-FRA WAM Sensor. Due to current restriction in the RADNET and PAM-FRA WAM Sensor only ADS-B using the ASTERIX category 021 version 0.23 could be transferred. This version provides only a single position report quality indicator (position accuracy, PA) which is sufficient for DO-260 related ADS-B information. ADS-B data generated in accordance with the DO-260A standard requires several quality indicators like NIC, NAC_P and SIL. Therefore, the analysis of the new ADS-B standard information requires the use of the ADS-B Reference Ground Station, which provides ADS-B ASTERIX category 021 version 1.2 data and 1090 ES Raw data.

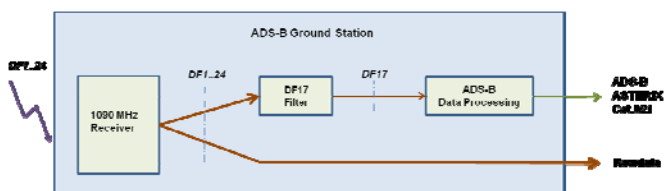


Fig. 4: Reference ADS-B Ground Station – Raw data

The ADS-B Reference Ground Station uses a THALES ATM AX-680 system as shown in the following figure:



Fig. 5: Reference ADS-B Ground Station – THALES AX680

The AX-680 receiver is also used within the remote units of the PAM-FRA WAM Sensors, which ensures comparable data provision. The ADS-B Reference Ground Station provides a new fully digitized receiver concept, which enables sophisticated data processing mechanism generating a further improvement of performance characteristics (e.g. probability of detection - P_d , coverage range).

F. Surveillance Data Distribution

The R&D ADS-B Validation Environment receives surveillance information from the RADNET. The radar data are being delivered in EUROCONTROL ASTERIX category 001, 002, 034 or 048 formats. The PAM-FRA WAM Sensor provides MLAT data using ASTERIX category 019 and 020 as well as ADS-B data using ASTERIX category 021. The main purpose of the surveillance data distribution function is to provide the relevant surveillance information to the surveillance data recording and analysis systems. The surveillance data distribution function is implemented using SKYGUIDE GENGATE tool and the COMSOFT Recording, Analysis, Playback & Simulation System for Surveillance Data (RAPS-II)

G. Data Recording

The data recording function shall enable the off-line analysis of the surveillance data provided by the various sensors. The data recording is implemented using several redundant Network Attached Storage systems (NAS). The surveillance information of each surveillance sensor is recorded separately in order to enable flexible analysis of different surveillance system compositions. The usual data format used for the recording is the corresponding ASTERIX format or the raw data format of the DFS R&D Reference ADS-B Ground Station.

H. ADS-B Analysis Tools (Offline)

The offline ADS-B Analysis is based on tools provided by EUROCONTROL namely the SASS-C system (version 6 and 7) as well as the AV Tool.

I. ADS-B Analysis Tools (Online)

The online ADS-B analysis tools are developed by DFS R&D department and the DFS System House (see PHOENIX system below). These systems shall be capable of direct processing of the relevant ADS-B quality information and provide means for visualization of the surveillance data.

J. Surveillance Data Processing System and Display (PHOENIX AWP)

The following figure provides a visual comparison of Radar- und ADS-B – plot data using the PHOENIX AWP.

The DFS developed PHOENIX Analysis Working Position (AWP) system is applied in the scope of the ADS-B Data evaluation in many functions. The ADS-B data could be visualized on the PHOENIX AWP in comparison with other surveillance data sources (radar, MLAT). Furthermore the client-server based multi radar tracking system PHOENIX provides means for online analysis of the quality of surveillance information (e.g. Probability of detection (P_d), deviation of position information provided by different surveillance

sources taking into account the provided quality indicators (e.g. Navigation Uncertainty Category, NUC_P).

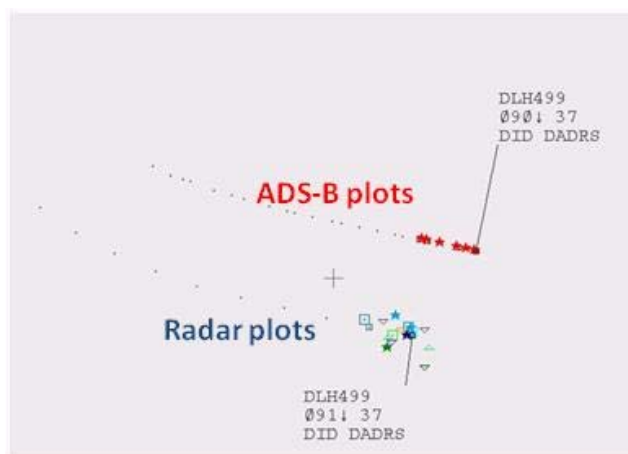
The main functions related to ADS-B are the following:

- Input data: ASTERIX category 1, 2, 3, 8, 10(s), 20, 21, 34, 48 Interface via UDP or HDLC Frame Level
- Output data: ASTERIX category 4, 9, 62, 63
- real multi radar tracker (multi plot fusion)
- Mode S (Elementary und Enhanced), ADS-B, MLAT capable
- build in STCA
- processing of up to 50 radar system simultaneously

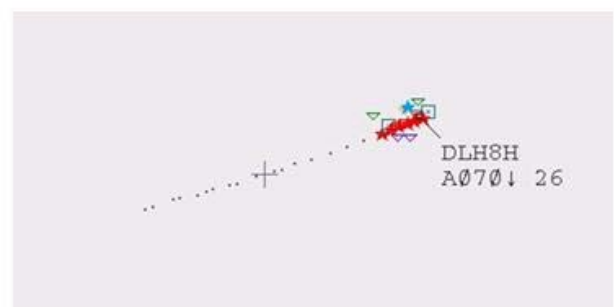
For the integration of multilateration and ADS-B measurements, it was aimed for a generalization of the formerly radar oriented tracker, extending it to the characteristics of the novel input types. A generalized sensor type was introduced which can be adapted to the specific input by means of configuration values alone [5].

K. PAM-FRA WAM Sensor

Currently the PAM-FRA WAM Sensor is being implemented as the first DFS Wide Area Multilateration system (WAM). The main objective for this WAM sensor is to provide surveillance infor-



constant offset



no offset

Fig. 6: PHOENIX – Analysis Working Position

mation for the Frankfurt Airport approach area. The WAM sensor is composed of about thirty remote units (surveillance data receiver) and a redundant central processing unit (target processor).

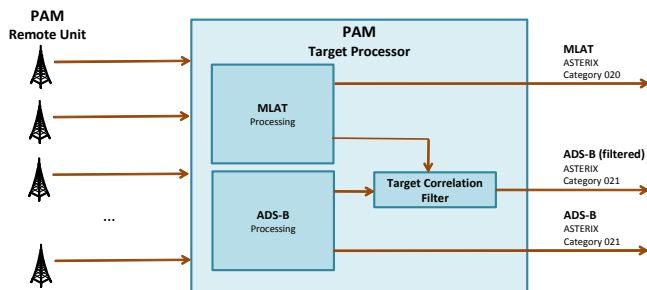


Fig. 7: PAM-FRA WAM-Sensor

In addition to its WAM capability the PAM-FRA WAM Sensor provides ADS-B data. The ADS-B data are received from the various remote units and relayed to the PAM target processor. The PAM target processor merges the data streams from the remote units to a single ADS-B stream, which includes as well a duplicate filtering and a correlation to the MLAT data. This correlation is used as WAM sensor internal quality check of the received ADS-B data. Therefore, if the position information of ADS-B data is within a configurable range related to the corresponding position information provided by the MLAT system than the ADS-B information is tagged as "valid" in the ADS-B data stream. This validity information is used in a first instance for evaluation purposes and later on as filter criteria for providing the data to the surveillance data processing systems.

IV. INITIAL RESULTS

ADS-B has been widely acclaimed as, among others, a source of accurate, frequently updated aircraft position data that can be obtained with rather moderate infrastructure in comparison to conventional radar technology. Experiments conducted at DFS have yielded a rather grave systematic error for the majority of Mode-S transponders that actually transmit their position via Mode-S extended squitter [4][5].

A. ADS-B data analysis approach [8]

The analysis of the ADS-B data is carried out using a stepwise approach. In a first step the sensor plot data of the reference system (either

radar or multilateration) are collected and chained to reference tracks for each monitored flight. The next step correlates the ADS-B plot data to the corresponding reference track. For each ADS-B plot information this correlation identifies the corresponding information within the reference track. The difference of ADS-B plot information and reference information provides the ADS-B plot deviation.

Figure 8 describes the various deviations, which are further analyzed (total position deviation (TPD), across/along position deviation (ACPD, ALPD) and latency (L)):

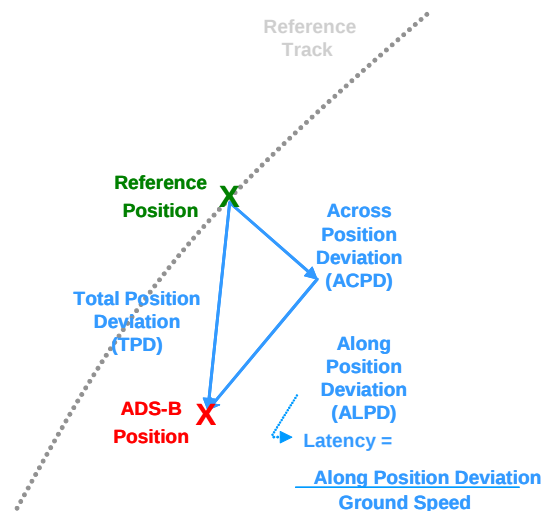


Fig. 8: Position deviation and latency

For each monitored flight several statistical parameters are collected for several deviation types (mean (average), standard deviation, maximum, minimum and 95% boundary). The following example in Figure 9 shows the observed frequency of certain ALPD and the cumulated percentage of the minimum, mean and maximum deviations.

In order to determine the accuracy and integrity of the ADS-B data each calculated deviation is compared with the related quality parameter transmitted by the aircraft at the specific time. The following three results are derived from this analysis:

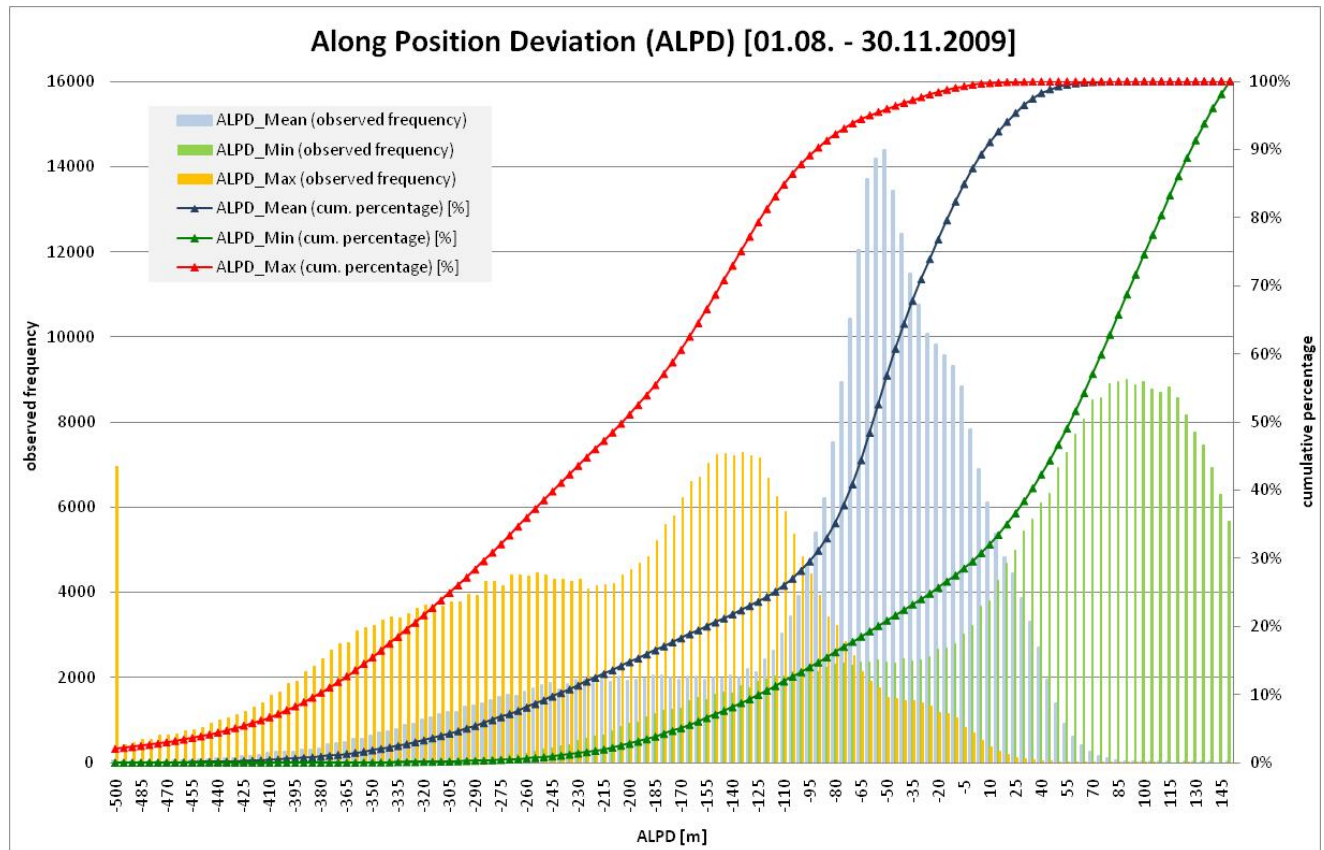


Fig. 9: Example: Along Position Deviation (ALPD)

Position accuracy consistency (PAC), which is the percentage of reports with a total position error consistent with the reported NUC_P for 95% boundary. This is done by counting the number with look-up table for the NUC_P and corresponding 95% error boundary in m ($1 \Rightarrow 18520$, $2 \Rightarrow 9260$, $3 \Rightarrow 1852$, $4 \Rightarrow 926$, $5 \Rightarrow 463$, $6 \Rightarrow 185.2$, $7 \Rightarrow 92.6$). Only NUC_P values 1-7 are used due to reference accuracy.

Across position accuracy consistency (PAC_AC), that is the percentage of reports with an across position error consistent with the reported NUC_P for 95% boundary. Calculation is similar to PAC.

Positional integrity consistency (PIC), that is the percentage of reports with a total position error consistent with the reported NUC_P for max containment Radius R_c boundary. Calculation is similar to PAC with lookup table ($1 \Rightarrow 37040$, $2 \Rightarrow 18520$, $3 \Rightarrow 3704$, $4 \Rightarrow 1852$, $5 \Rightarrow 926$, $6 \Rightarrow 370.4$, $7 \Rightarrow 185.2$).

The following Figure 10 shows in principle the decision scheme applied for determining the corresponding accuracy indicators.

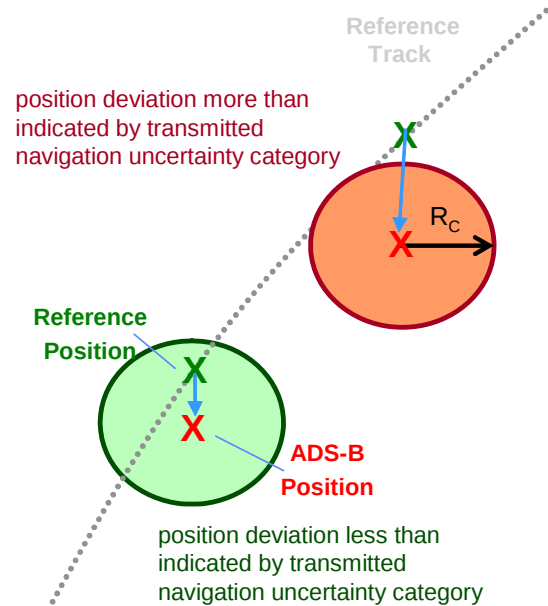


Fig. 10: Accuracy and integrity monitoring

The reliability of the quality indicators provided by ADS-B is especially important in environments where ADS-B is the sole mean of surveillance in which no reference information for consistency checks is available.

The Figure 11 shows the observed frequency of certain percentage of reports with Across Position Deviation consistent with reported NUC_P for 95% boundary.

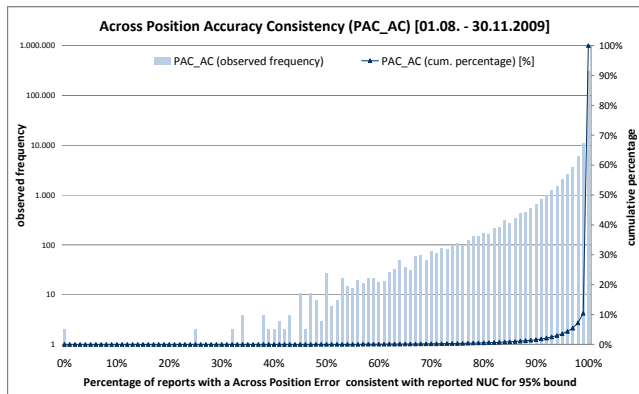


Fig. 11: Example: Across Position Accuracy Consistency (PAC-AC)

B. ADS-B airborne implementation status

The ADS-B airborne implementation status could be analyzed using several parameters (the figures in blue report the actual status (February 2010)), e.g.:

- **ADS-B equipage rate:** is the relation of aircraft transmitting ADS-B messages (Mode S Extended Squitter: DF 17) and Modes S messages (Mode S replies: DF11).
⇒ 74%
- **DO260/A implementation rate:** is the percentage of aircraft equipped in accordance with the RTCA standard DO-260 or DO-260A (which provides improved means for ADS-B quality monitoring).
DO-260: ⇒ 97%
DO-260A: ⇒ 3%
- **ADS-B message type distribution:** describes the observed percentage of the Mode S Extended Squitter DF17 messages types transmitted by each aircraft. The nominal case foresees that aircraft in accordance with DO-260 transmits for aircraft airborne: airborne position (2Hz), velocity (2Hz) and identification messages (0.2Hz) and for aircraft on ground: ground position and identification messages.

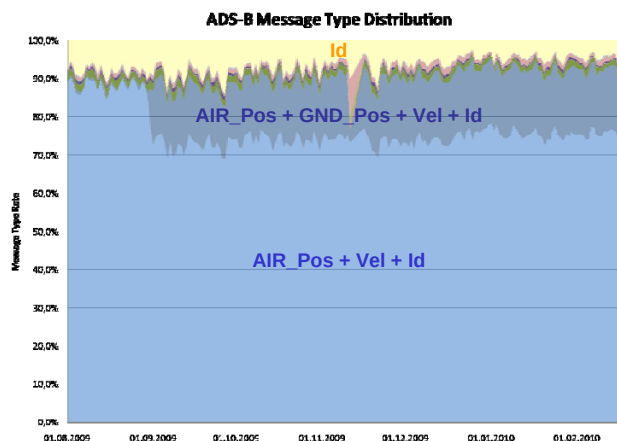


Fig. 12: ADS-B message type distribution

The observed ADS-B message type distribution recorded by the DFS R&D reference ADS-B ground station in the timeframe between 01.08.2009 – 18.02.2010 is as follows:

- Airborne Position (AIR_Pos) ⇒ 92 %
- Ground Position (GND_Pos) ⇒ 14 %
- Velocity (Vel) ⇒ 92 %
- Identification (Id) ⇒ 98 %

- **Navigation Uncertainty Category (NUC_P)** distribution: describes the observed number of flights including a certain NUC_P quality indicator. The NUC_P value is related to a specific horizontal protection level and horizontal error as indicated in the following table:

NUC_P	Horizontal Protection Level (10^{-7})	Horizontal Error (95%)	Vertical Error (95%)	Comment
0	No Integrity	Unknown	Unknown	No Integrity
1	<20 NM	<10 NM	Baro Alt	RNP-10
2	<10 NM	<5 NM	Baro Alt	RNP-5
3	<2 NM	<1 NM	Baro Alt	RNP-1
4	<1 NM	<0.5 NM	Baro Alt	RNP-0.5
5	<0.5 NM	<0.25 NM	Baro Alt	e.g. NPA, DME-DME
6	<0.2 NM	<0.1 NM	Baro Alt	e.g. GPS-SPS
7	<0.1 NM	<0.05 NM	Baro Alt	e.g. GNSS (no SA)
8	TBD	<10 m	<15 m	e.g. SBAS
9	TBD	<3 m	<4 m	e.g. GBAS

Table 1: Navigation Uncertainty Category (NUC_P)

The observed NUC_P distribution is shown in the following Figure 13. Furthermore an estimate about the allowed separation and applicable ADS-B applications is provided (NRA: ADS-B in non radar airspace; RAD: ADS-B in radar airspace).

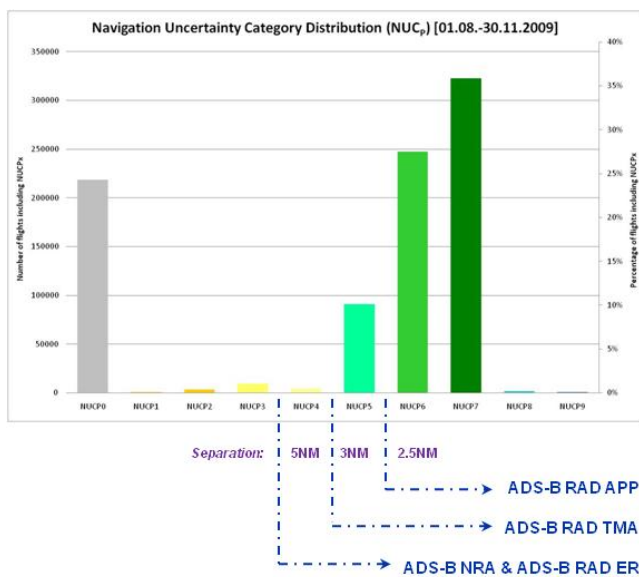


Fig. 13: NUC_p distribution

In summary the percentage of ADS-B equipped aircraft with respect to total number of Mode S equipped aircraft providing airborne position messages with a NUC_p of at least 5 ("ASAS capable") is currently ⇒ 48 %

V. Future Work

The DFS project "ADS-B Data Evaluation" is going to complete the integration of the components of the DFS R&D ADS-B validation infrastructure. The last important step will be the establishment of connection to PAM-FRA WAM-Sensor providing the ADS-B data derived from about thirty remote units. The future performance analysis of the ADS-B data will use the WAM data as reference.

The following performance characteristics will be the main focus of the analysis:

- Position Deviation and Latency
- Accuracy
- Integrity
- Reliability
- Probability of Detection
- Coverage analysis

Furthermore a safety assessment based on ADS-B data evaluation results will be carried out.

Within the international context DFS is participating in the Eurocontrol CASCADE "CRISTAL ADS-B Out Ground Implementation Project". Important deliverables expected during this work are the Operational Service and Environmental Description (OSD), Validation Plan/ Results as well as Safety Plan and Safety Assessment.

Therefore the DFS Project "ADS-B Data Evaluation" will conclude if ADS-B data could be used for separation within radar airspace (Arrival/ Departure Frankfurt Airport).

REFERENCES

[1]	EUROCAE: ED-161: Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Areas using ADS-B Surveillance (ADS-B RAD), 2009
[2]	DFS: St. Stanzel, "Konzept ADS-B Datenuntersuchung", April 2009
[3]	DFS: Dr. G. Heidelemer, Dr. H. Hoffmann, „Konzeption einer Sicherheitsbewertung zur Nutzung von ADS-B für eine Luftlagendarstellung zu Staffelmesszwecken“, December 2008
[4]	DFS: A. Mathias, "ADS-B Error Estimation and Correction in the PHOENIX Tracker", June 2008
[5]	DFS: R. Heideger, A. Mathias, "Multiradar Tracking in PHOENIX and its Extension to Fusion with ADS-B and Multilateration", 2008
[6]	DFS: R. Heideger, H. S. Nguyen, "An analysis working position for {ATC} radar data processing quality control," in ESAVS 2007 conference proceedings, (Bonn), 2007.
[7]	EUROCONTROL: European Operational Concept Validation Methodology (E-OCVM), v2.0, March 2007
[8]	EUROCONTROL: T. Sevim: "Usage Guide on the ADS-B Pioneer Monitoring Statistics with Excel Pivot Graphs", October 2007

Glossary

NIC	Navigation Integrity Category
NAC _p	Navigation Accuracy Category for position
PAC	Position Accuracy Consistency
PIC	Positional Integrity Consistency
SIL	Surveillance Integrity Level
P _d	probability of detection

Gaming – a new validation technique in ATM Research

Eliana Haugg, TE/A; Dr. Ralph Leemüller, TE/S

Zusammenfassung

Im Projekt Episode 3 (Single European Sky Support through Validation) im sechsten Rahmenprogramm der Europäischen Kommission wurde Gaming als neue Technik zur Validierung von neuen ATM Konzepten erprobt. Gaming erwies sich dabei als kostengünstige Maßnahme, um die Umsetzbarkeit und Akzeptanz verschiedener Prozesse und Verfahren zu überprüfen sowie die Interaktion zwischen den Beteiligten zu untersuchen. Im Projekt kamen verschiedene Gaming-Varianten (Papier/Bleistift, internetgestütztes und plattformgestütztes Gaming) zum Einsatz, die erfolgreich mit weiteren Validierungstechniken kombiniert wurden (Expertengruppen, Modellierungen, Schnellzeitsimulationen und iterative Realzeitsimulationen). Die Gaming Technik wurde auf verschiedenen Veranstaltungen im Rahmen unterschiedlicher Projekte und bei der Europäischen Kommission jeweils auf Englisch vorgestellt. Daher ist dieser Artikel ebenfalls auf Englisch verfasst.

Introduction

The project Episode 3 (Single European Sky Support through Validation) sponsored by the European Commission within the sixth framework programme, evaluated new validation techniques among other project objectives. In this context the gaming technique was deployed to explore its use in the context of ATM validation.

Gaming describes a broad range of similar techniques that look at real-life situations where two or more parties interact in order to meet their aims and objectives. Thus, the Human-In-the-Loop (HIL) gaming technique is used for playing "serious games", designed for a specific purpose to gain useful insight into a real-life situation where the outcome depends on human interaction.

Gaming Objectives

Gaming serves to gain a deeper understanding of a concept's or a system's initial processes and/or interactions of different processes with each other. During the game, experts act as players; this allows the exploration of concepts

and definition of processes and roles in a structured way, focusing the players' attention on the information flow and responsibilities associated with the processes. It can also be used to define system functions needed to support a process. Gaming is useful to identify motivations, strategies and behaviours of players and show how these affect the concept or system. It can also help stakeholders to understand the positions and motivations of others.

Finally gaming can be used to validate process operability and feasibility, e.g. for the detection of bottlenecks and showstoppers in a concept.

Gaming techniques

In Episode 3 paper-based games, web-based games and platform-based techniques have been used.

Paper-based games are played with very simple means; the game manager, assistant, and participants only need pen and paper as well as information sets and scripts (also on paper). Paper-based games promote non-routine thinking and allow the exploration of concepts that are quite open. This is especially useful when the responsibilities are not yet completely defined and information flows are still unclear. Paper-based games have great flexibility and enable a quick adaptation of the gaming sessions to new circumstances. The gaming design technique was adapted to allow improving the goals that were defined at the initial design of the game (i.e. either by refining them or by changing the processes that lead to them), replacing the goals (if they prove infeasible) or changing the game altogether (if the approach or the results do not prove to be viable). Results of gaming exercises were recorded in detailed storyboards.

In Episode 3, web-based games were implemented as an evolution of the paper-based games, without entering in the development of a complete gaming platform. As soon as the initial processes were refined and more stable the

games were programmed into web-based tools, e.g. FLASH. A user guide was provided to the players before the games and training sessions were run to familiarize players with the different tools and options of the platform. Web-based games allow the actors to participate via the internet and therefore often allow a broader participation to the games (no need for travelling). The web-based games also allow recording the development of the actions and processes performed along the games for detailed analysis and comparison. Web-based games are more standardised and provide a more realistic presentation of processes and user interfaces. On the other hand they lose part of the flexibility.

Platform-based games are performed using a hardware platform and are recommended for operational assessments and to explore new functionalities or requirements of tools. Configurable player positions are used to support the roles of different ATM processes. This permits platform adaptation to the objective of the game, the situation, the scenario and the concept that is being assessed. The modular development supports the integration of interoperable modelling services and components.

The gaming platforms used in Episode 3 were CHILL and DARTIS.

- CHILL (Collaborative Human-In-the-Loop) is a versatile collaborative ATM platform in which each role can configure its parameters to perform the game in the way the participants decide.
- DARTIS (Decision Aid to Real Time Synchronisation) enables the application of dynamic ATFCM measures managed through collabora-

tive decision making between the different involved partners (air navigation service providers, network managers and the aircraft operators).

Furthermore, two platforms that were not specifically designed for gaming were used to facilitate gaming sessions: ACCESS and PROMAS.

- ACCESS is a facility that is used as an airport operations centre (APOC). It provides a flexible infrastructure with up to ten operator working positions as well as a large power wall to show a situation overview to all operators.
- PROMAS (Processes Management Simulator) is a gaming-compatible Fast-Time Simulations technique, which is used to assess complex systems.

The type of gaming technique to be applied depends on the maturity level of the concepts to be validated; while paper-based and web-based games fit better with lower maturity levels (E-OCVM [1] lifecycle model phases V0-V1), hardware-platform based games fit better with higher maturity levels (E-OCVM lifecycle model phases V1-V2).

When a complex concept is validated, a gaming exercise usually consists of several gaming sessions. Each one studying a specific concept element or a specific benefit that is expected of a concept. Each session consists of several games which can last up to two hours. In Episode 3 gaming sessions were usually planned for one day with three to four games. The results of each gaming session served for the refinement of the next session, until the general objectives of the gaming exercise were achieved. Figure 1 shows the phases of a complete gaming exercise con-

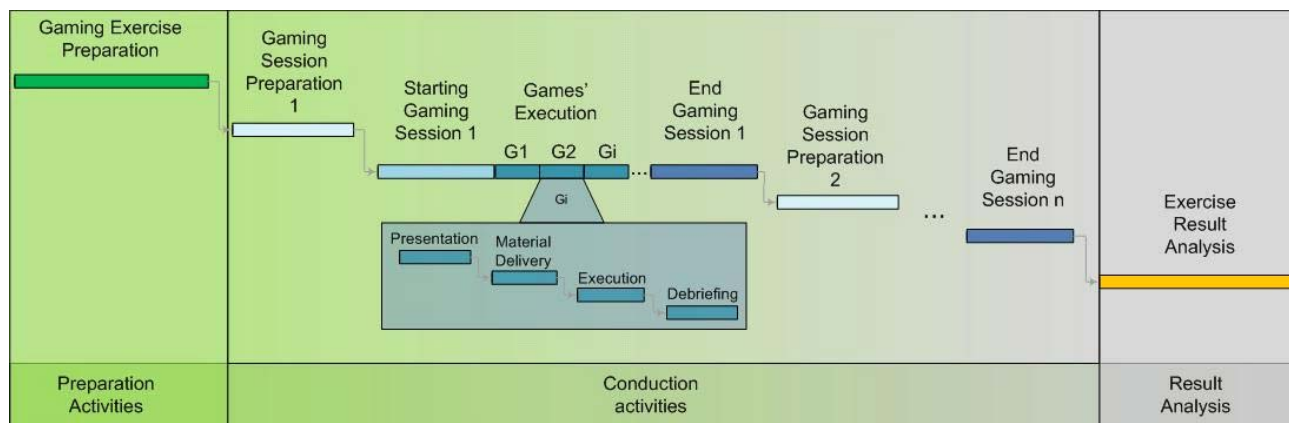


Figure 1: Gaming exercise phases

sisting of several sessions. During the games played in the context of the Episode 3 project it has proved of value to play the same scenario with different groups. In this way more conclusions were obtained and results could be compared and analysed.

Elements of gaming

Among the different types of gaming there are some common elements needed to play a game. These are the scenario, a set of objectives and rules, and the actors (game manager, assistants/observers, and players).

The scenario contains the complete description of the events that are going to take place during the game. This can also be a traffic sample in case of a platform based game. Some of the events may be kept secret from players until an appropriate point in the game. It is advisable to start with a scenario describing a nominal situation. This facilitates the comprehension of the rules and concept of the game. After this non nominal situations may be explored. Figure 2 shows a scenario description from a paper based game.

Rules are necessary to enable the game; they determine the order in which actions are carried out and constrain the behaviour of the players.

Every actor in the game obtains a script describing the objectives and rules applying to his role.

The game manager ensures that all actors respect the rules of the game and that the game is managed in order to achieve its objectives. In games which pursue the further definition of concepts, processes, and roles it is essential that the game manager has a good knowledge of the concept as well as the issues that are still open and shall be explored. Without good guidance the gaming session can easily become a mere expert group meeting. Along the development of the game, the game manager asks questions, introduces events and steers discussions. In order to do this the game manager uses a script as backup. This contains the scenario description including the players involved in the game and tools available to each of them. An initial information flow diagram with a representation of the processes involved in the game linked with the players that will perform them and a time planning is provided as well. The game manager also obtains a summary of open issues that are foreseen to be discussed.

The assistant or observer takes notes and records the course of the game. The notes can be analysed after the game in order to show the evolution and process flow of the game. The assistant/ observer has a copy of the manager script but also a full description of the concept and access to the original documents. The game manager and assistants do also provide help to the players if required.

The players of the game are experts e.g. from ANSPs, airlines etc. It is not mandatory to involve all stakeholders in the game although it is advisable. The players must have good knowledge of the concept that will be discussed. Therefore a briefing should be performed in the first session explaining the con-

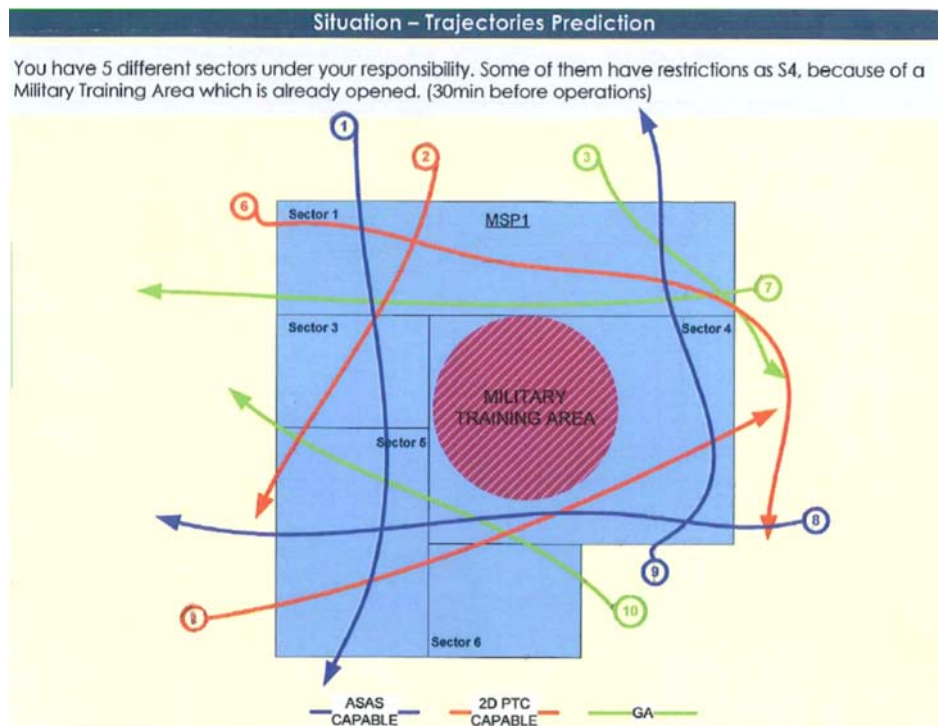


Figure 2: Scenario description from a paper based game

cept elements which will be explored during the game and also explaining the roles in the game. Players must do their best to play their assigned roles and reach the aims that are expected. In order to do this the participants also obtain a script with general information, personal objectives and responsibilities of their role, rules for the interaction with other players, and information on processes and tools which they can use. An example is shown in figure 3.



Figure 3: Example for a participant script from a paper based game

quicker and cheaper to set up than building or modifying a simulation platform. Usually the outputs of gaming are qualitative, for example feedback from players via debriefing sessions or questionnaires. Independent observation during the course of a game by the game observers and game manager can also reveal useful information and can be complemented by direct feedback from the players. In case of platform-based gaming it is possible to capture quantitative data in a game log file as well.

However, the usefulness of the data depends on several factors such as the number of games played and the amount of data recorded in a game. Furthermore, gaming results in general depend on the individual exercise, the inputs, the objectives, the individuals involved (their expertise, own objectives) and platform limitations. Results often need further assessment / confirmation using other techniques.

Generally, the design of a game shall address the following elements:

- Purpose and objectives;
- Selection of the gaming method and tool;
- Scenario;
- Rules;
- Players;
- Methods to collect and analyse the outcomes.

Benefits and Limitations

Gaming can be used for concept development and refinement in all phases of flight, including the planning phase. It is especially useful in early stages of concept maturity and can help to refine storyboards and operational scenarios. Gaming is flexible and links well with other validation techniques. Planning and execution (at least for paper-based gaming) is inexpensive and can be

Combining gaming with other validation techniques

In the course of the Episode 3 project the combination of gaming with expert groups has proven to be a focussed and inexpensive technique to assess and define information flows, roles and responsibilities and to detect gaps and inconsistencies in concept descriptions. Expert groups and gaming have often been combined in a two day meeting. On the first day experts discussed concepts, assumptions, and open questions. On the second day the (same) experts participated in a gaming session exploring if the proposed processes and procedures were feasible.

The combination of different gaming techniques has expanded the cost effective validation techniques available. The paper-based technique is adequate to assess and define information flows, roles and responsibilities and detect gaps. The use of web-based games allows the validation of

the results through the exposition of the scenario to a broader expert community. Platform-based games support the defined processes with quantifiable metrics.

Gaming also links well with Modelling or Fast Time Simulations. The processes and information flows with their associated timelines developed in the gaming sessions can be used to feed models and Fast Time Simulations.

Gaming (and platform-based gaming in particular) can also be combined with prototyping sessions (small scale real time simulations in an iterative way). A game can start refining processes and concepts and can identify issues/priorities for follow up prototyping sessions. Promising solutions can be implemented in prototyping sessions for further assessment investigating aspects which cannot be validated with gaming, e.g. performance assessment.

In summary, gaming can be combined with several other validation techniques. For concept development and refinement it is most useful to deploy gaming as an intermediate step between expert groups and prototyping sessions.

Conclusion

Gaming was evaluated as a new technique in the ATM domain and assessed as a cost-effective and versatile validation tool. Three techniques were presented: paper-based games, web-based games and platform-based games. The paper-based technique is adequate to assess and define information flows, roles and responsibilities and detect gaps in the concept. It is a step forward in the development of a concept as it asks how the different actors will perform a function. The use of a web-based game allows the exposition of the scenario to a broader expert community and presents a scenario closer to real operation. Finally the use of platform-based games strengthens the analysis of the processes defined with quantifiable metrics and detection of trends. Gaming can be combined with several other validation techniques. For concept development and refinement it is most useful to deploy gaming as an intermediate step between expert groups and prototyping sessions.

Abbreviations

ANSP	Air Navigation Service Provider
ATM	Air Traffic Management
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
E-OCVM	European Operational Concept Validation Methodology

Glossary

DARTIS	Decision Aid for Real Time Synchronization - The DARTIS platform was initially developed by EUROCONTROL in support to the CAMES project (Cooperative ATM Measures for a European Single Sky) to perform ATFCM real-time simulations or on site trials in a pre-operational context.
CHILL	Collaborative Human in the Loop Laboratory - A versatile collaborative ATM validation platform which has been used to reproduce the negotiation process between the Civil airspace users, Military, Civil/Military airspace manager and Sub-Regional Manager for military changes in airspace reservation.
ACCESS	Airport Control Centre Simulator - Facility equipped with a large powerwall and several operator working positions where representatives of the main stakeholders (airport, ANSP, airlines) work together to refine the Airport Operations Plan.
PROMAS	Process simulation - A process simulation tool that performs the role of the components of a complex system and reproduces the activities involved in it focusing on the study of inconsistencies, processes bottlenecks, useful procedures, information flows

References

[1]	E-OCVM European Operational Concept Validation Methodology, Version 3.0, February 2010
[2]	Episode 3, D4.3.3-02 Gaming on Queue, Trajectory and Separation Management Report, Version 1.00, November 2009
[3]	Episode 3, D4.4-01 WP4 Report - En-Route Consolidated Assessment, Version 1.00, December 2009
[4]	Episode 3, D2.5-01 Final Report, Version 3.00, March 2010

Impressum:

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

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

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

Redaktion: Dr. Andreas Herber (andreas.herber@dfs.de),
Oliver Haßa (oliver.hassa@dfs.de),
Stefan Tenoort (stefan.tenoort@dfs.de)

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

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

Printversion: ISSN 1861-6364

Internet-Version: ISSN 1861-6372

COPYRIGHT

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

Copyright © 2010 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.