
Inhaltsverzeichnis

Übersicht der Artikel in diesem Heft	4
Untersuchung zur Erweiterung des Anwendungsbereiches für eine Radar-Mindeststaffelung von 3NM	5
Thomas Knopp, Isabelle Brossaud, Rainer Fischer, Andreas Gräf, Rainer Schindler	
Styleguide for iCAS TID - SFIT	11
Dr. Konrad Hagemann, Stefan Tenoort	
ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) in der DFS.....	17
Michael Lüttel	
Mode N – A Concept of Modern Navigation and an Alternative Position, Navigation & Timing System for Aviation.....	23
Steffen Marquard	
„StayCentered“: Nutzung von Sensorik zur Zustandserkennung und -prognose von Operateuren in der Flugverkehrskontrolle	29
Jörg Buxbaum, Paul Rosenthal (TU Chemnitz), Georg Valtin (TU Chemnitz) und Nicholas Müller (TU Chemnitz)	
Ein Konzeptelement zur Herstellung der Boden/Boden-Kommunikation zwischen Lotsen konventioneller und sektorloser Lufträume.....	34
Carmo S. Klünker (TU Berlin)	
Impressum	35

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

Übersicht der Artikel in diesem Heft

Thomas Knopp, Isabelle Brossaud, Rainer Fischer, Andreas Gräf, Rainer Schindler: Untersuchung zur Erweiterung des Anwendungsbereiches für eine Radar-Mindeststaffelung von 3NM. Die DFS begrenzt derzeit die horizontale Mindeststaffelung von 3 NM grundsätzlich auf Lufträume, in denen eine Zielerfassung durch ein Wide-Area-Multilaterations-System (WAM) oder durch eine schnelldrehende Radaranlage gegeben ist. Außerhalb dieser Lufträume muss eine horizontale Mindeststaffelung von 5 NM eingehalten werden. Durch genauere Radaranlagen und verbesserte Trackingsysteme könnte der Anwendungsbereich der 3 NM Radarstaffelung erweitert werden. Damit könnte Kapazität des Luftraumes erhöht oder die Anzahl der Staffelungsunterschreitungen reduziert werden. Dieser Artikel beschreibt eine Trackerevaluierung, mit der die Möglichkeit einer Ausweitung des 3 NM Staffelungsbereichs untersucht wurde.

Dr. Konrad Hagemann, Stefan Tenoort: Styleguide for iCAS TID – SFIT. Der Artikel beschreibt die Entwicklung eines Styleguides als Hilfsmittel zur Gestaltung des HMI für das zukünftige iCAS Touch Input Device. Der Styleguide enthält Gestaltungsempfehlungen aller relevanter Interaktionselemente und gewährleistet dadurch ein konsistentes und harmonisches Erscheinungsbild und ist damit ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit. SFIT reicht vom allgemeinen Layout einzelner TID Seiten bis hin zur detaillierten Beschreibung und Bemaßung von Bedienelementen, inklusive Typographie und Farben. Das Projekt erfolgte im Auftrag des zentralen Anforderungsmanagements und wurde gemeinsam mit der Hochschule Osnabrück durchgeführt.

Michael Lüttel: ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) in der DFS. Die DFS wird in den nächsten Jahren ihre Ortungsinfrastruktur erneuern. Dabei werden auch alternative Ortungssysteme wie ADS-B optional berücksichtigt. Technologische, wirtschaftliche und politische Einflussfaktoren werden in diesem Artikel beleuchtet und ein Ausblick auf die Nutzung dieser Ortungstechnik in der DFS gegeben.

Steffen Marquard: Mode N – A Concept of Modern Navigation and an Alternative Position, Navigation & Timing System for Aviation. Mode N ist ein neues Konzept für ein bodengestütztes System zur Bereitstellung eines Navigationsdienstes, das die gegenwärtig verwendete Entfernungsmessausrüstung (DME) ergänzt und später ersetzt. Es basiert auf sekundären Überwachungsradarsignalen, während die traditionelle DME-Funktionalität beibehalten wird. Mode N als ein terrestrisches System kann ein alternatives Positions-, Navigations- und Zeitsteuerungssystem (APNT) bereitstellen, um globale Navigationssatellitensysteme zu unterstützen. Dieser Artikel gibt eine Übersicht zur Entwicklung von Mode N und des Systemkonzepts, sowie eine Zusammenstellung der erwarteten Vorteile.

Jörg Buxbaum, Prof. Dr. Paul Rosenthal (TU Chemnitz), Dr. Georg Valtin (TU Chemnitz) und Dr. Nicholas Müller (TU Chemnitz): „StayCentered“: Nutzung von Sensorik zur Zustandserkennung und –prognose von Operateuren in der Flugverkehrskontrolle. Das „MACeLot / StayCentered“-Projekt der TU Chemnitz verfolgt das Ziel, die physiologische und kognitive Beanspruchung von Fluglotsen anhand der Ableitung mehrerer sensorischer Daten zu erfassen. Informationen über den psychischen Zustand des Lotsen sollen im Falle einer erwarteten Arbeitsüberlastung eine adaptive Unterstützung und zusätzliche Maßnahmen ermöglichen. Der Artikel gibt einen Überblick über die Untersuchungsmethodik und erste Ergebnisse.

Carmo S. Klünker (TU Berlin): Ein Konzeptelement zur Herstellung der Boden/Boden-Kommunikation zwischen Lotsen konventioneller und sektorloser Lufträume. Derzeitig ist die DFS der einzige Flugsicherungsdienstleister, der ein Implementierungsprojekt zur Umsetzung eines Konzepts zum sogenannten sektorlosen ATM verfolgt. Eine der Herausforderungen liegt in der Boden/Boden-Kommunikation, d.h. der Durchführung von Koordinationsgesprächen mit den angrenzenden Sektoren. In diesem Artikel werden verschiedene Varianten eines Konzeptelements zur Herstellung der verbalen Kommunikation vorgestellt. Die jeweiligen Vor- und Nachteile der Alternativen werden diskutiert und bewertet sowie die Ergebnisse vorgestellt. Abschließend wird ein Ausblick für zukünftige Untersuchungen gegeben.

Untersuchung zur Erweiterung des Anwendungsbereiches für eine Radar-Mindeststaffelung von 3NM

Thomas Knopp, Isabelle Brossaud, Rainer Fischer, Andreas Gräf, Rainer Schindler

Einleitung

Zur Unterstützung des Betriebsdienstes bei der sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Luftverkehrs betreibt die DFS verschiedene Luftlagendarstellungssysteme, die von einem Netz von Nah- und Weitbereichsradaranlagen sowie dem Wide-Area Multilaterations-System Frankfurt gespeist werden. Diese Systeme ermöglichen dem Betriebsdienst, die für die Verhinderung von Zusammenstößen von Luftfahrzeugen erforderliche horizontale wie vertikale Staffelung des Luftverkehrs zu überwachen. Von der ICAO wird hierfür ein Staffelungswert von 1000 ft vertikal sowie von 5 bzw. 3 NM horizontal vorgeschrieben.

Die DFS begrenzt derzeit die horizontale Mindeststaffelung von 3 NM grundsätzlich auf Lufträume, in denen eine Zielerfassung durch ein Wide-Area-Multilaterations-System (WAM) oder durch eine schnelldrehende Radaranlage (Zielwiederholrate besser als 0,2 Hertz) gegeben ist. Im Falle einer schnelldrehenden Radaranlage erfolgt eine zusätzliche Begrenzung auf eine Entfernung von maximal 45 NM zur Radaranlage sowie auf unterhalb Flugfläche 195. Außerhalb dieser Lufträume muss eine horizontale Mindeststaffelung von 5 NM eingehalten werden. Die zusätzliche Begrenzung im Falle einer schnelldrehenden Radaranlage basiert auf einer Untersuchung aus dem Jahr 2000 [1] mit den von der DFS zu dieser Zeit betriebenen MSSR-Radaranlagen sowie Trackingsystemen (DERD-X/XL sowie P1/ATCAS RDPS).

Seitdem wurden viele der damaligen MSSR-Radaranlagen durch genauere Mode S-Radaranlagen ersetzt und neue Trackingsysteme wie PHOENIX-CC oder zukünftig ARTAS eingeführt bzw. das damalig verwendete Trackingsystem P1/ATCAS RDPS modifiziert. Aufgrund der damit erwarteten Verbesserung der Zielerfassung und -verfolgung, wurde 2015 und 2016 mittels einer Trackerevaluierung untersucht, ob der im Jahr 2000 festgelegte Anwendungsbereich der 3 NM Radarstaffelung mit den derzeit betrieblich genutzten Trackingsystemen bei einem schnell-drehenden Radar in Entfernung und Höhe erweitert werden kann. Mit einer Erweiterung des Anwendungsbereiches der 3 NM Staffelung kann

dann in Abhängigkeit von weiteren betrieblichen Einflussfaktoren (wie etwa der Luftraumstruktur) die Kapazität des Luftraumes erhöht oder die Anzahl der Staffelungsunterschreitungen reduziert werden.

Die Zielerfassung der derzeit im Rahmen des MaRS-Projektes neu zu beschaffenden Radaranlagen soll nicht schlechter sein als die Zielerfassung der gegenwärtig genutzten MSSR- und Mode S-Radaranlagen der DFS. Somit haben die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich einer Erweiterung des Anwendungsbereiches der 3 NM Staffelung auch für die zukünftig genutzten MaRS-Radaranlagen Gültigkeit.

Testumgebung

Der für die Untersuchung zur Erweiterung der 3 NM Radarmindeststaffelung verwendete Testaufbau, die erstellten Testszenarien sowie die für die Untersuchung relevanten Anlagenparameter der simulierten Radaranlagen werden im Folgenden beschrieben.

Testaufbau

Für die Trackerevaluierung wurde die Simulatorumgebung STEP (Sensor Tracker Evaluation Platform) der DFS genutzt. Dazu wurden mithilfe von Testszenarien im DFS-Simulator Newsim/ATCoach Radardaten (ASTERIX-CAT001/CAT048-Ziel- und ASTERIX-CAT002/CAT034-Service-meldungen) generiert sowie aufgezeichnet und anschließend in die von der DFS betriebenen Trackingsysteme (Referenzsysteme) eingespeist.

Die von dem jeweiligen Trackingsystem der DFS (ATCAS, PHOENIX-CC und ARTAS) anhand der eingespeisten Radardaten erzeugten Zielmeldungen (Tracks) kommen auf dem Lotsensichtgerät zur Darstellung und werden als Endpunkt der Verarbeitungskette aufgezeichnet und schließlich ausgewertet.

Testszenerien

Für die Untersuchung zur Erweiterung der 3 NM Staffelung wurden zwecks horizontaler und vertikaler Abdeckung des zu untersuchenden Erfassungsbereiches insgesamt drei verschiedene

Szenarien mit je sechs unterschiedlichen Flugverläufen aufbereitet. Je Flugverlauf wurden zwischen 110 und 350 Luftfahrzeuge mit einem longitudinalen Abstand von 3 NM zueinander simuliert.

Die Flugverläufe spiegeln An- und Abflugverfahren des Flughafens Frankfurt sowie Kurven- und Streckenflüge im Approach- und Enroute-Bereich wider. Für die Kurven- und Streckenflüge wurden unterschiedliche Höhenbereiche (Flugflächen 50, 100, 150, 200 und 250) mit den dort typischerweise zur Anwendung kommenden Geschwindigkeitsbereichen ausgewählt. Die Kurvenflüge erfolgten in den Entfernungsbereichen von 55, 65 und 75 NM zur Radaranlage Frankfurt-Süd.

Den Luftfahrzeugen wurden in den jeweiligen Szenarien Transpondereigenarten und -fehler wie Transponderausfälle, Mode C-Ausfälle oder Mode A-Codewechsel zugewiesen, wie sie auch in der Realität vorkommen können. Die Untersuchung zur Erweiterung der 3 NM Staffelung erfolgt im Rahmen einer sogenannten Monte-Carlo-Simulation, bei der eine sehr große Zahl gleichartiger Zufallsereignisse die Basis darstellt. Die Anzahl der simulierten Transpondereigenarten und -fehler ist daher zufällig und häufiger als in der Realität zu erwarten.

Für alle Szenarien wurden Radardaten sowohl für eine Single- als auch eine Multi-Radar-Umgebung erzeugt. Folgende Szenarien wurden angewendet:

Szenario A

A-Spur, B-Spur:

Anflug Radaranlage FFS ab 100 NM, Überflug FFS, bei 55/65/75 NM Right Turn (Radius 7,5 NM), Rückflug um 15 NM parallel versetzt bis 100 NM zu FFS, Levelflight in FL 40/50/60 (A-Spur) sowie FL 90/100/110 (B-Spur)

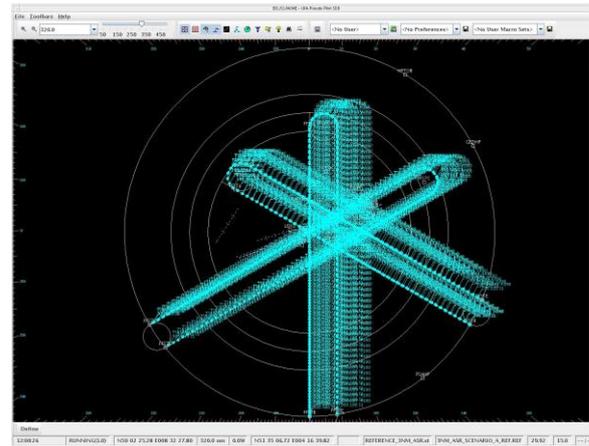


Abbildung 1: Szenario A

Szenario B

C-Spur, D-Spur:

Anflug Radaranlage FFS ab 100 NM, Überflug FFS, bei 55/65/75 NM Right Turn (Radius 7,5 NM), Rückflug 15 NM parallel versetzt bis 100 NM zu FFS, Levelflight in FL 140/150/160 (C-Spur) sowie FL 190/200/210 (D-Spur)

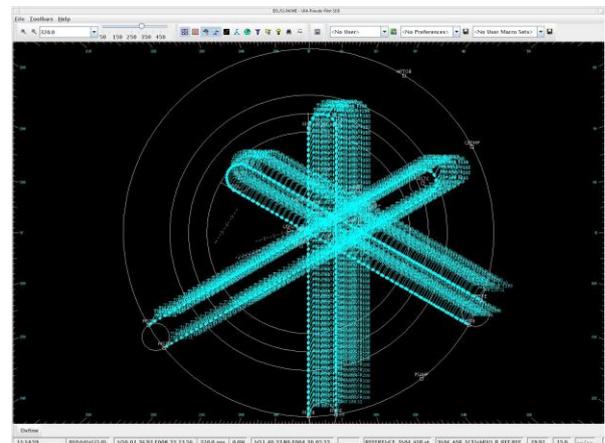


Abbildung 2: Szenario B

Szenario C

E-Spur:

Anflug Radaranlage FFS ab 100 NM, Überflug FFS, bei 55/65/75 NM Right Turn (Radius 7,5 NM), Rückflug 15 NM parallel versetzt bis 100 NM zu FFS, Levelflight in FL 240/250/260

TA-Spur, TB-Spur:

Parallelanflug:

EDDF/RWY25L über PSA ab 100 NM zu FFS, sowie EDDF/RWY25R über GED ab 100 NM zu FFS

TT-Spur:

Südümfliegung EDDF/RWY18 über ROXAP, LISKU, TABUM, TEGSA, TOBAK bis 100 NM zu FFS

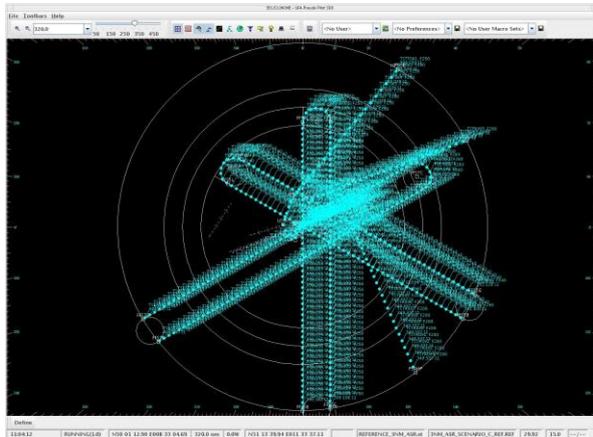


Abbildung 3: Szenario C

Single-Radar-Umgebung

In der ersten Validierungsphase erfolgte eine Single-Radar-Untersuchung mit der ASR-Anlage FFS. Diese Untersuchung spiegelt die Verarbeitung der Ziel-daten von nur einer Radaranlage und somit eine Einfach-Radarüberdeckung wider. Mit dieser Untersuchung ist unabhängig vom Flugverlauf die Entfernung des Luftfahrzeuges zum Radarstandort immer eindeutig, während bei einer Multi-Radar-Umgebung für eine Untersuchung hinsichtlich eines möglichen Erweiterungsbereiches der 3 NM Staffelung immer der Abstand zur jeweils nächsten Radaranlage maßgebend ist. Die Single-Radar-Umgebung stellt bzgl. des zu ermittelnden linearen Mittelwertes des Positionsfehlers aufgrund der vergleichbar geringen Radardatenrate grundsätzlich den worst case dar.

Multi-Radar-Umgebung

Für eine Tracker-Untersuchung sind neben dem linearen Mittelwert des Positionsfehlers auch die Standardabweichung, der 99%-Wert (etwa 2,58 Sigma) sowie der Maximalwert des Positionsfehlers maßgebend.

Bei der Simulation einer Multi-Radar-Umgebung ist der lineare Mittelwert des Positionsfehlers aufgrund der dem Tracker für die Positionsberechnung zur Verfügung stehenden höheren Anzahl an Ziel-meldungen geringer als bei einer Single-Radar-Umgebung.

Die Qualität (Genauigkeit) der Zielmeldung einer Radaranlage verschlechtert sich mit der Entfernung des Luftfahrzeuges zur Radaranlage. Dies hat zur Folge, dass Standardabweichung, 99%- und Maximalwert des Positionsfehlers in einer Multi-Radar-Umgebung aufgrund der hier vom Tracker verarbeiteten qualitativ schlechteren Zielmeldungen weit entfernter Radaranlagen jedoch größer sein können als dies in einer Single-Radar-Umgebung der Fall ist. Daher wurde in einer zweiten Validierungsphase eine Multi-Radar-Untersuchung mit der Radaranlage Frankfurt-Süd als zentralem Sensor sowie weiteren 12 Radaranlagen durchgeführt.

Hierbei flossen die Daten unterschiedlicher Radaranlagen, d.h. sowohl schnell- als auch langsamdrehende MSSR- und Mode S-Anlagen, in die Trackerverarbeitung ein. Dem Umstand, dass in einer Multi-Radar-Umgebung die Entfernung zu den jeweiligen Radaranlagen nicht mehr eindeutig ist, wurde dadurch Rechnung getragen, dass nur Radaranlagen simuliert wurden, die in den Kurvenbereichen im Abstand von 55, 65 sowie 75 NM zur Radaranlage Frankfurt-Süd einen größeren Abstand zu den simulierten Luftfahrzeugen aufweisen als die Radaranlage Frankfurt-Süd. Hiermit ist sichergestellt, dass in diesen Bereichen keine Radaranlage zur Positionsbestimmung beiträgt, welche qualitativ bessere Zielmeldungen als die zu untersuchende Radaranlage Frankfurt-Süd liefert.

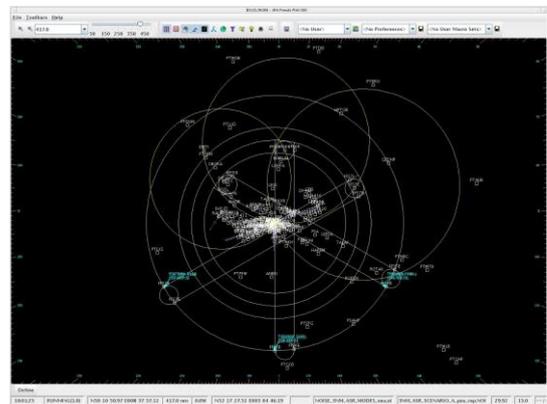


Abbildung 4: Radaranlagen Multi-Radar-Umgebung

Anlagenparameter der simulierten Radaranlagen

Für die mittels des NEWSIM/ATCoach zu simulierenden Radardaten wurden Anlagenparameter der von der DFS betriebenen MSSR- und ModeS-Radaranlagen zugrunde gelegt.

Um Aussagen hinsichtlich beider von der DFS derzeit genutzter Typen von Radaranlagen machen

zu können, wurde der Radaranlagenstandort Frankfurt-Süd (FFS) jeweils sowohl als MSSR-Anlage als auch als Mode S-Anlage simuliert.

In der Multi-Radar-Umgebung wurden die folgenden zusätzlichen Radaranlagen simuliert:

- SA Pfälzer Wald (MSSR)
- SA Mittersberg (MSSR)
- ASR Stuttgart (MSSR)
- ASR Münster-Osnabrück (MSSR)
- SREM Neunkirchner Höhe (Mode S)
- SA Gosheim (Mode S)
- ASR Luxemburg (Mode S)
- SREM Auersberg (Mode S)
- ASR München Süd (Mode S)
- SA Brocken (Mode S)
- SREM Deister (Mode S)
- SREM Großhaager Forst (Mode S)

Ergebnisse

Single-Radar-Umgebung

Für den ATCAS-Tracker konnte verifiziert werden, dass die Grenzwerte für eine 3 NM Staffelung außerhalb des Totkegelrandbereiches FFS bis 75 NM und FL 250 für den MSSR- und Mode S-Modus eingehalten werden. Die Grenzwerte für eine 3 NM Staffelung innerhalb des Totkegelrandbereiches wurden zwar bei simulierten Mode C-Ausfällen überschritten, da jedoch in Realität eine Mehrfachüberdeckung vorliegt, hat diese Beobachtung keine Relevanz für die Erweiterung des 3 NM Staffelungsbereiches.

Beim Tracker PHOENIX-CC wurden im gesamten Erfassungsbereich der Radaranlage Spurlücken sowie ein verspäteter Trackaufbau infolge mehrerer aufeinanderfolgender fehlender Zielmeldungen der Radaranlage beobachtet. Die Ursachen hierfür sind noch zu untersuchen. Daher kann derzeit hinsichtlich des Fallback-Systems PHOENIX-CC noch keine abschließende Einschätzung getroffen werden.

Multi-Radar-Umgebung

Sowohl für den ATCAS- als auch den PHOENIX-CC-Tracker werden die Grenzwerte für eine 3 NM Staffelung in einem Erfassungsbereich bis 75 NM und FL 250 für MSSR als auch Mode S Anlagen mit folgenden Ausnahmen eingehalten:

- Luftfahrzeuge mit Ausfall der Höheninformation (Mode C)
- Luftfahrzeuge mit Wechsel der Mode S-Adresse (sehr unwahrscheinlicher Fall)

- Luftfahrzeuge während der Track-initialisierung

Radaruuntersuchung

Des Weiteren wurde analysiert, bis zu welcher Entfernung man die Zielmeldungen einer DFS-Mode-S/MSSR-Anlage auch direkt, d.h. ohne eine zusätzliche Verarbeitung durch einen Tracker, wie im Approach-Mode des ATCAS-Trackers realisiert, für eine 3 NM Staffelung nutzen kann.

Die in diesem Falle auf die horizontale Genauigkeit stark einwirkende Radareigenschaft ist die Azimut-Genauigkeit der Zielmeldungen. Für eine Standardabweichung von 210 m (gem. Eurocontrol ESASSP-Dokument [3], siehe Kapitel 4) ergibt sich mit dem für die DFS-Radaranlagen typischen Entfernungsfehler 90 m (Standardabweichung) die in Abb. 5 dargestellte Abhängigkeit des nutzbaren 3 NM Staffelungsbereichs vom Azimut-Fehler der Radaranlage.

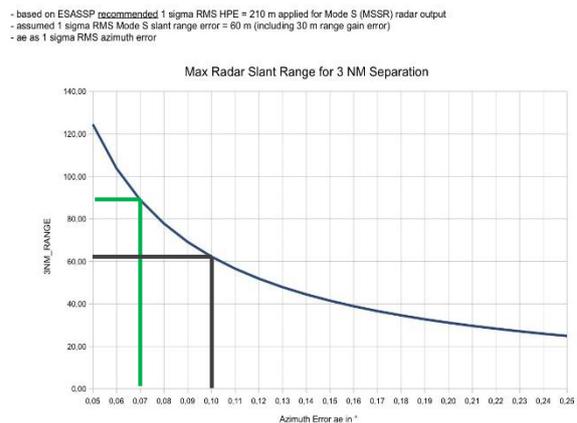


Abbildung 5: Abhängigkeit des nutzbaren 3 NM Staffelungsbereichs

Bei einem Azimut-Fehler von $0,07^\circ$ (Standardabweichung), welcher bei den Radaranlagen der DFS die maximale Standardabweichung des Azimutfehlers darstellt, ergibt sich eine theoretisch nutzbare 3 NM Staffelungsbereich von etwa 90 NM um die Anlage. Allerdings ist zu erkennen, dass die Größe des zulässigen 3 NM Staffelungsbereich sehr sensitiv auf den Azimut-Fehler reagiert. Bei zusätzlichen $0,03^\circ$, d.h. einem Azimutfehlerwert von $0,1^\circ$, sinkt der zulässige 3 NM Staffelungsbereich bereits auf 60 NM. Dennoch lässt sich eindeutig schluss folgern, dass eine 3 NM Staffelung im Bereich von mindestens 60 NM um die Anlage auch direkt mit den Radardaten möglich wäre.

Internationale Regelungspraxis und Empfehlungen

Mit Entscheidung der FAA vom Juli 2015, siehe [4] und [5], wurde der Höhenwert des 3 NM Staffelungsbereichs von FL 180 auf FL 230 angehoben. In der FAA-Regelungspraxis (siehe [5]) sowie in der EUROCAE Empfehlung entsprechend ED 161 (siehe [6]) wurde für den 3 NM Staffelungsbereich ein Entfernungswert von 60 NM festgelegt. Ferner sollte die DFS-Festlegung des 3 NM Staffelungsbereichs nicht ohne vergleichende Berücksichtigung entsprechender Anforderungen bzw. Empfehlungen des Eurocontrol-ESASSP-Dokuments [3] erfolgen:

Tabelle 1: HPE-Anforderung

HPE-Anforderungen 3 NM Staffelung	Max HPE	99% HPE	1 Sigma HPE	1 Sigma RHPE
DFS Tracker Evaluation based Method [2]	0,6 NM	0,3 NM	215,3 m	
ESASSP HPE [3]			300 m	
ESASSP RHPE [3]				210 m

HPE Horizontal Position Error

RHPE Recommended Horizontal Position Error

Anmerkung: Bei einem Gauss-verteilten Positionsfehler liegt der 99%-Wert bei 2,58 Sigma. Somit entsprechen 0,3 NM für 99% HPE einem Wert von 215,3 m für 1 Sigma HPE

Die vergleichende Analyse der HPE-Anforderungen zeigt, dass der DFS-Anforderungswert von 0,3 NM für 99% HPE (etwa 2,58 Sigma), der einem Wert von 215,3 m für 1 Sigma HPE entspricht, praktisch gleich dem ESASSP RHPE-Wert von 210 m ist. Das von der DFS für Trackeruntersuchungen zugrunde gelegte Staffelungskriterium entspricht somit in etwa der Eurocontrol-Empfehlung gemäß [3] und ist zudem strenger als die Eurocontrol-Mindestanforderung von 300 m, insbesondere auch aufgrund der DFS Max HPE Anforderung von 0,6 NM.

Empfehlungen zur betrieblichen Nutzung

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 beschriebenen Ergebnisse lassen sich die folgenden Empfehlungen hinsichtlich einer Erweiterung der betrieblichen Nutzung der 3 NM Staffelung ableiten. Die nachfolgenden Empfehlungen beziehen sich auf

alle Radaranlagen, welche schon heute von der DFS für eine 3 NM Staffelung zur Anwendung kommen. Die Anwendung des Staffelungswertes von 3 NM ist nur mit schnelldrehenden Anlagen zulässig, also Anlagen, die eine Plot-Update-Rate von 0,2 Hertz oder besser bereitstellen können, siehe dazu auch [3]. Nur diese sind in der Lage, Manöveroperationen im Flughafennahbereich zeitnah zu erfassen. Dafür kommen bei der DFS die ASR-Anlagen sowie die MSSR-SA- und Mode-S-SA-Anlagen (z.B. PFW, GOS etc.) in Frage.

Eine 3 NM Staffelung zwischen zwei Luftfahrzeugen kann grundsätzlich nur angewendet werden, wenn für beide Lfz

- eine eindeutige Luftfahrzeugidentifizierung (Rufzeichen) besteht und
- Tracks oder Plots aufgebaut (established) sind und ununterbrochen zur Darstellung gelangen.

Eine 3 NM Staffelung darf nicht zur Anwendung kommen

- bei durchgängig fehlenden Zielmeldungen der zur Verfügung stehenden Radaranlagen (über mehr als 3 Track-Update-Perioden),
- bei anhaltenden Zielsprüngen, d.h. fehlerhaften Zielpositionen oder
- wenn es durch eine fehlende Höheninformation zu Fehlern bei der berechneten Zielposition kommt.

Empfehlung für die Auswahl des Entfernungsbereiches

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit den heute eingesetzten MSSR- und Mode S-Radaranlagen in Verbindung mit den Trackersystemen ATCAS und PHOENIX-CC eine 3 NM Staffelung bis zu einer Entfernung von 75 NM von der Radaranlage angewendet werden kann.

In Anbetracht der vorliegenden Performancewerte, der FAA-Regelungspraxis, der EUROCAE-Empfehlung sowie unter Berücksichtigung entsprechender Anforderungen bzw. Empfehlungen des Eurocontrol-ESASSP-Dokuments wird empfohlen, den 3 NM Staffelungsbereich zunächst vom derzeit vorgegebenen Entfernungswert von 45 NM auf 60 NM zu erweitern.

Diese Erweiterung enthält einen Sicherheitspuffer von 15 NM zum positiv untersuchten maximalen Entfernungswert von 75 NM, welcher nach ausreichender operativer Erfahrung mit dem

empfohlenen Entfernungswert von 60 NM ggf. später zur Anwendung kommen könnte.

Empfehlung für die Auswahl des Höhenbereiches

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit den heute eingesetzten MSSR- und Mode S-Radaranlagen in Verbindung mit den Trackersystemen ATCAS und PHOENIX-CC eine 3 NM Staffelung bis zu einer Höhe von FL 250 angewendet werden kann. Aufgrund der in größeren Höhen üblicherweise geflogenen höheren Geschwindigkeiten verringert sich hier jedoch die dem Lotsen zur Verhinderung einer Staffelungsunterschreitung zur Verfügung stehende Reaktionszeit.

Daher muss hier noch eine Bewertung erfolgen, bis zu welcher Geschwindigkeit und somit bis zu welchem maximalen Höhenwert eine 3 NM Staffelung aus betrieblicher Sicht Anwendung finden kann.

Abkürzungen

ARTAS	ATM surveillance Tracker And Server
ASR	Aerodrome Surveillance Radar
ASTERIX	All purpose Structured Eurocontrol surveillance information eXchange
ATCAS	Air Traffic Control Automation System
ATCoach	Air Traffic Coach
DERD	Darstellung Extrahierter Radardaten
FFS	Radaranlage Frankfurt-Süd
HPE	Horizontal Position Error
MaRS	Modernisation and Replacement of Surveillance Infrastructure
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar
Newsim	New Simulator
NM	Nautische Meile
PAM	Precision Approach Monitor
RDPS	Radar Data Processing System
RHPE	Recommended Horizontal Position Error
SA	Stand Alone

SREM	Surveillance Radar Equipment
STEP	Sensor Tracker Evaluation Platform

Referenzen

- [1] Radarmindeststaffelung mit MSSR-Eingangsdaten, DERD X/XL und P1/ATCAS RDPS, Version 1.0, 29.08.2000
- [2] Technische Kriterien für Radar Separation, Teil 1: P1/ATCAS RDPS, Vers. 2.0 vom 19.03.1999
- [3] Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance (ESASSP) Volume 1, March 2012
- [4] FAA N JO 7110.689, June 2015
- [5] FAA JO 7110.65W, October 2015
- [6] EUROCAE ED-161, September 2009, Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for ADS-B-RAD Application

Styleguide for iCAS TID - SFIT

Dr. Konrad Hagemann, Stefan Tenooort

Einleitung

Mit dem Programm „iTEC Center Automation Systems“ (iCAS) wird in der DFS centerübergreifend ein neues, komplett streifenloses ATS System für den oberen und unteren Luftraum eingeführt. Für die DFS stehen hierbei drei Vorteile im Vordergrund: (1) Eine leistungsfähige Plattform, auf der sich auch zukünftig aufbauen lässt, (2) die Einführung eines einheitlichen Systems in allen DFS-Kontrollzentralen und (3) Vorteile auf der Kostenseite durch die Zusammenarbeit mit anderen Flugsicherungsanbietern [1].

Das Programm läuft in zwei Phasen ab. In Phase I wurde das DFS Center ATS-System für den oberen Luftraum entwickelt mit der gleichen Funktionalität wie das Vorgängersystem P1/VAFORIT und einer neuen technischen Plattform (Hardware, Betriebssystem, Middleware). Die Inbetriebnahme wurde im November 2017 in der Kontrollzentrale Karlsruhe vollzogen. In Phase II erfolgt eine evolutionäre Weiterentwicklung des ATS-Systems iCAS, um die erforderlichen Funktionen für den unteren Luftraum zu implementieren, und anschließend eine schrittweise Ablösung von P1/ATCAS bzw. P2 an den Kontrollzentralen des unteren Luftraums im Anschluss an die Umsetzung von iCAS Phase I im Center Karlsruhe zu vollziehen.

Mit dem Schritt von einem streifenbasierten hin zu einem streifenlosen System sind insbesondere für den unteren Luftraum durch die speziellen Anforderungen Anpassungen an der Benutzungsschnittstelle erforderlich. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf einer Anpassung der Mausbedienung. Zusätzlich wird auch ein neues Touch Input Device (TID) entwickelt, mit welchem die komplexen Eingaben des unteren Luftraums getätigt werden können.

Zur Erreichung des Ziels einer weitreichenden unternehmensweiten Systemstandardisierung stellt ein Styleguide ein sinnvolles Instrument dar. In Ergänzung zu den vorhandenen Systemspezifikationen bietet dieser eine Sammlung von Regeln mit dem Ziel, eine möglichst konsistente, klare und einheitliche Gestaltung von Benutzungsoberflächen sicherzustellen. In einer einjährigen, bereichsübergreifenden Zusammenarbeit wurde daher unter der Federführung des DFS-Bereichs Planung und Innovation ein Styleguide für das iCAS TID entwickelt. Ein Styleguide ist jedoch nur insoweit wirksam, als dessen Inhalte und

Anwendungsmöglichkeiten auch einer möglichst breiten Leserschaft bekannt sind [3]. Insofern soll der vorliegende Artikel neben einer Vorstellung des Vorgehens im Projekt auch einen kurzen Überblick über dessen Inhalte geben.

Unterscheidung von Prozessnormen, Produktnormen und Styleguides

Bei der Systementwicklung wird empfohlen, gemäß ISO 9241-210 „Prozess zur Entwicklung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme“ vorzugehen. Hierbei handelt es sich um eine Prozessnorm. Prozessnormen unterscheiden sich von Produktnormen dahingehend, dass sie keine Empfehlungen für die Gestaltung von Produkten enthalten, sondern vielmehr Empfehlungen für die Durchführung von Aktivitäten anbieten, die dazu führen sollen, dass gebrauchstaugliche Produkte entstehen. Die Moderation dieses Prozesses benutzerorientierter Gestaltungsaktivitäten wird gemeinhin auch als Usability Engineering bezeichnet (s. z.B. [2]).

Neben der Prozessnorm zur Entwicklung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme gibt es Produktnormen zur Gebrauchstauglichkeit (Usability) und Gestaltungsprinzipien der Dialoggestaltung (ISO 9241 Teile 11 und 110). Im Fall von Software besteht das Ziel von DIN/EN/ISO-Usability-Normen allerdings nicht darin, einen Hersteller zur Entwicklung von „Einheits-Software“ zu verpflichten, d.h. im Sinne von produktübergreifenden Festschreibungen wie ein Designelement (z.B. ein Fenster) auszusehen hat. Vielmehr gilt es primär sicherzustellen, dass ein Produkt (z.B. eine Software) von bestimmten Benutzern in einem definierten Anwendungskontext dazu genutzt werden kann, um gestellte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen, d.h. dass ein bestimmtes Produkt bei einer bestimmten Arbeitsaufgabe bestmöglich unterstützt.

Usability-Normen berücksichtigen Empfehlungen, über deren Inhalt weitestgehend Konsens in der Fachwelt besteht und deren Missachtung zu Nutzungsproblemen führen kann. Über die sog. Bildschirmarbeitsverordnung (BildscharbV) hat der Begriff der Gebrauchstauglichkeit Einzug in das Arbeitsschutzgesetz gefunden [4]. In Deutschland ist es die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAKKS), die entsprechende Auditverfahren zur Einhaltung von Usability-Normen in Unternehmen definiert hat [11],

[12] und die beispielsweise die Konformität von Produkten, aber auch von Entwicklungsprozessen in Unternehmen akkreditiert.

Die Empfehlungen in Normen sind plattform-unabhängig, da sie sehr unterschiedliche Produkte, Systeme oder Dienste betreffen können. Normen geben daher lediglich Rahmenbedingungen, jedoch keine konkreten Spezifikationen vor. Separat erhältliche Kommentierungen sollen dem Anwender praktische Hilfestellungen bei Interpretation und Umsetzung der Normen geben (s. z.B. [13]). Die in einem Styleguide formulierten Regeln sollten grundsätzlich konform zu bestehenden Usability-Normen sein.

Styleguides werden oftmals von Herstellern erstellt (für eine Übersicht s. z.B. [14]), um konkrete Rahmenbedingungen und Gestaltungsrichtlinien für definierte Bestandteile der jeweiligen Benutzungsschnittstellen vorzugeben, also z.B. ein grundsätzliches Layout für Fenster und Eingabefelder oder die genaue Größe von Tasten und anderen Bedienelementen.

Zusammenfassend sind Ziel und Zweck eines Styleguides die Schaffung von Konsistenz, Klarheit und Einheitlichkeit des „Look & Feel“ von Benutzungsoberflächen, sodass die verschiedenen Funktionen eines interaktiven Systems zusammenhängend wahrgenommen werden. Darüber hinaus kann ein Styleguide zwar keine Spezifikation ersetzen, aber den allgemeinen Spezifikationsaufwand reduzieren [9].

Wesentliche Vorteile eines Styleguides hat Gale 1996 formuliert [10]. Im Folgenden wurden diese dem DFS Kontext entsprechend adaptiert und stichpunktartig zusammengefasst:

- **TID Nutzer (Lotsen):** Effizienteres Arbeiten mit dem System, Vermeidung von Fehlbedienungen, höhere Zufriedenheit, erhöhte Akzeptanz des Systems durch qualitativ hochwertige Benutzungsoberflächen (ein hohes Maß an Usability).
- **Entwickler/Anforderer:** Kontrolle über Anzeige und Verhalten (look & feel), reduzierte Entwicklungsaufwände, Vermeidung von Doppelentwicklungen, weniger willkürliche Einzellösungen.
- **Produktmanagement iCAS:** DFS-weite Harmonisierung des Systems mit Wirkung auf Kosten und Flexibilität. Entwicklung von Systemen erhöhter Qualität, die leicht zu pflegen sind und die Nutzerakzeptanz erhöhen; verringerter Trainingsbedarf und positives Image für das Produkt, auch im internationalem Wirkungsfeld (z.B. Chance auf eine spätere Vereinheitlichung innerhalb iTEC).

Darüber hinaus kann ein Styleguide auch ästhetische Gesichtspunkte des HMIs adressieren, da er ein verbindliches Design vorgibt, d.h. festlegt wie bestimmte Elemente der Darstellung zu gestalten sind. Typische Regelungen in einem Styleguide betreffen z.B. Schriftart, Zeilenabstand, Farben, Buttongröße oder Fensterrahmen. Als Grundlage für die Erstellung des vorliegenden iCAS TID Styleguides dienten die ergonomischen Anforderungen aus dem iCAS HMI Konzept. Während die iCAS HMI Anforderungen darlegen, was adaptiert werden soll, beschreibt der Styleguide wie bestimmte Darstellungsobjekte anzuzeigen sind und wie sie sich verhalten.

Aus europäischen Forschungsprojekten wie SESAR [5] liegen zudem Styleguides vor ([6], [7], [8]), die herstellerunabhängig sind und welche für den ATM Kontext relevante generelle Richtlinien und Designprinzipien beinhalten. Für den iCAS TID Styleguide sollte von Anfang an eine möglichst weitgehende Kompatibilität der Inhalte zu den auf europäischer Ebene vorliegenden Ergebnissen sichergestellt werden. Im Anhang des Styleguides werden daher auch entsprechende Regeln aus dem europäischen ATM Forschungs- und Entwicklungskontext auszugsweise dargestellt und referenziert.

Als Erstanwender des iCAS TID Styleguides wurden die sogenannten iCAS Adapteure des zentralen DFS Anforderungsmanagements identifiziert, denen er zunächst als zusätzliche Leitlinie zur Umsetzung der HMI Anforderungen dienen soll. Zudem sind es die o.g. weiteren Personengruppen im DFS Unternehmen, welche als potentielle Nutznießer des Styleguides betrachtet werden. Nicht zuletzt aus der konsequenten Anwendung des vorliegenden Styleguides ist neben der Verfügbarkeit von in sich konsistenten Gestaltungsempfehlungen auch ein deutlicher Nutzen aufgrund der Verwendung einer einheitliche „HMI Sprache“ in den zumeist interdisziplinär besetzten Anforderungsworkshops zu erwarten.

Ausgangslage und Bestandsanalyse

Nach der Beauftragung im August 2016 wurden zunächst die verfügbaren Dokumentationen und Systementwürfe gesichtet. Dazu gehörten u.a. auch ein Prototyp des Systemhauses mit Multi-Touch Eingabemöglichkeiten, der aktuelle Entwurf des iCAS HMI- und Interaktionskonzeptes, sowie Ergebnisse aus zu dem Zeitpunkt bereits stattgefundenen Anforderungsworkshops im Rahmen des iCAS Programms. Zusätzlich wurden die derzeit in der DFS sich im Einsatz befindlichen TID Benutzungsoberflächen der Systeme P1 und VAFORIT begutachtet und hinsichtlich ihrer Informationsarchitektur und

Gestaltung analysiert. Als Ergebnis dieser Screenings konnten verschiedene Schwerpunkte für die Inhalte des Styleguides identifiziert werden. Insbesondere die einheitliche Gestaltung und Anordnung der Bedienelemente und deren Funktion, klare Beschriftungen und niederlassungsübergreifende konsistente Bezeichnungen, Farben und Fonts standen dabei im Vordergrund.

Entwicklung des Styleguides

Nach der Analyse der bisherigen Systeme und der Anforderungen an das iCAS TID wurde mit der Gestaltung erster Designelemente, die im Styleguide Berücksichtigung finden sollten, begonnen. Dazu gehörten ein einheitliches Seitenlayout der verschiedenen TID-Seiten, sowie die Gestaltung und Spezifikation der einzelnen Bedien- und Anzeigeelemente.

Für diese Aufgabe konnte die Hochschule Osnabrück (Lehrstuhl für Industrial Design der Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik) gewonnen werden, mit der die DFS schon verschiedenen Designstudien und Systementwicklungen durchgeführt hat ([15], [16]). Die Zusammenarbeit startete Ende November 2016 mit einem Kick-off Meeting in Langen und verfolgte das Ziel, zunächst ein Grunddesign der TID-Seiten zu entwickeln, welches möglichst an die bereits existierenden Systemlandschaften angelehnt sein sollte. Es sollte eine graphische Gestaltung sowie Spezifikation von Größe, Farbe, etc. aller Kontroll-Bedien- und Anzeigeelemente erfolgen, die im iCAS TID voraussichtlich vorgesehen sind. Durch eine Feinspezifikation aller Elemente der graphischen Benutzungsoberfläche wird im Styleguide ein verbindliches Design vorgegeben. Ziel ist vorrangig die Sicherstellung eines einheitlichen und konsistenten Erscheinungsbildes und darüber hinaus auch die Berücksichtigung ästhetischer Gesichtspunkte.

Die Gestaltungsziele wurden im weiteren Verlauf immer konkreter spezifiziert und von der Hochschule ausgearbeitet. Regelmäßig wurden in Online-Meetings der aktuelle Zwischenstand diskutiert und entsprechende Aktualisierungen vorgenommen. Sofern aus den iCAS Workshops neue Erkenntnisse und Anforderungen gewonnen werden konnten, wurden diese in einer weiteren Iteration des Styleguides berücksichtigt.

iCAS Workshops und Iterationen

Der in vorhergehenden iCAS Anforderungswshops entstandene Mock-up eines Flight Plan Templates (FPT) diente als Basis für die Entwicklung des Styleguide und enthielt einen großen Teil der möglichen Anzeige-

Interaktionselemente des TID. Das FPT wurde analysiert, das Layout mit den verschiedenen Bereichen zur Darstellung und Veränderung von Informationen hinsichtlich der Lotsenaufgaben beschrieben und alle vorgefundenen Designelemente in einem Dokument zusammengestellt. Auch für die Zusammenarbeit mit der Hochschule Osnabrück diente das FPT zunächst als der zentrale Ausgangspunkt für die Designentwicklung des gesamten iCAS TIDs.

Validierung des Styleguides

Im Mai 2017 konnte in einem Workshop der erste Entwurf des Styleguides vorgestellt und bestätigt werden. Teilnehmer waren Mitglieder der sogenannten iCAS Task Force, welche Anforderungen für Systeme und Verfahren für iCAS Phase II erarbeitet, sowie Vertreter der Abteilung Ergonomie, Innovation & Promotion und dem zentralen iCAS Anforderungsmanagement. Dieser Styleguide Entwurf stieß auf allgemeine Akzeptanz unter den Teilnehmern. Zudem konnten Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge aufgenommen werden, die in der weiteren Entwicklung des Styleguides Verwendung fanden.

Nach entsprechender Aktualisierung des Entwurfs folgte daraufhin in einem weiteren Workshop eine erste Nutzervalidierung mit Vertretern der oben genannten Abteilungen, sowie des Systemhauses und der Hochschule Osnabrück. Um den Styleguide zu validieren, wurden die Methode einer Anwendungsübung an Stelle eines reinen Dokumentenreviews gewählt. Probleme die sich aus der Anwendung bei der tatsächlichen Arbeit ergeben, lassen sich auf diese Weise effizienter und deutlicher identifizieren. Ziel war es, möglichst viele Verbesserungswünsche für den Styleguide zu erfassen und einen Lerneffekt über die Anwendung des Styleguides bei den Nutzern zu erzielen.

Als Arbeitsübung wurde die folgende Aufgabe gestellt:

1. Erstellen Sie eine hypothetische TID Seite zum Telefonieren mit anderen Sektoren, sowie anderen relevanten Kontaktstellen zum Einsatz am Executive/Planner Arbeitsplatz
2. Die TID Seite ist Styleguide-konform, d.h. sie enthält nur Inhalte, die auch Inhalte des Styleguides sind und folgt den dort enthaltenen Empfehlungen.
3. Die TID Seite soll Direktwahl ermöglichen.
4. Die Seite soll die Suche nach einem Kontakt in einem Telefonbuch ermöglichen.
5. Die TID Seite soll das Weiterleiten von Anrufen ermöglichen (Makeln).

6. Die TID Seite soll eine Stummschaltfunktion enthalten.

Als Hilfsmittel standen eine gedruckte Version des Styleguides, eine Mustervorlage des TID Screens auf Papier und eine Schablone der Hochschule Osnabrück mittels derer diverse Anzeige- und Bedienelemente des Styleguides auf die Vorlage gezeichnet werden konnten, zur Verfügung.

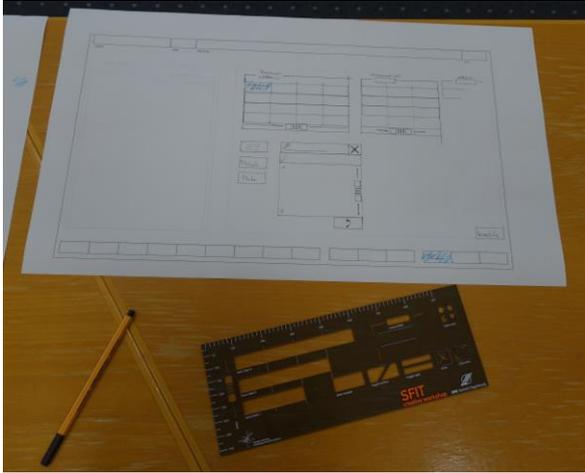


Abbildung 1: Validierungsworkshop

Die Erfahrungen aus der Anwendung des Styleguides inklusive der dabei aufgetretenen Probleme sowie Ergänzungs- und Verbesserungswünsche wurden im Anschluss an die Übung von den Teilnehmern erfragt, auf Karten notiert und an einer Pinnwand visualisiert.

Anschließend wurden diese von allen Teilnehmern nach Wichtigkeit priorisiert. Für die beiden wichtigsten Kategorien wurde eine Überarbeitung des Styleguides in der noch verbleibenden Projektlaufzeit vereinbart.

Styleguidekonforme Prototypentwicklung

Die jeweils in den iCAS Workshops erarbeiteten Gestaltungsvorschläge wurden durch Mitarbeiter des Systemhauses in einem Prototyp umgesetzt, der mit einer modernen, flexiblen und plattformunabhängigen Entwicklungssoftware (QT5) programmiert wurde. Dabei wurden jeweils die Vorgaben des Styleguides in seiner aktuellen Fassung berücksichtigt. Somit konnten die Mitglieder der iCAS Task Force in den jeweiligen Anforderungsworkshops diese Gestaltungsempfehlungen realitätsnah ausprobieren und validieren.

Darüber hinaus ergaben sich durch die praktische Anwendung des Styleguides wertvolle Rückmeldungen durch die beteiligten Programmierer bezüglich der prototypischen Realisierbarkeit. So konnten verschiedene Defizite und Unklarheiten aufgedeckt

werden und notwendige Verbesserungsvorschläge auch aus technischer Sicht eingebracht werden.

Übergabe

Anfang August 2017 fand mit einer Abschlussveranstaltung die offizielle Übergabe des Styleguides an die Auftraggeber statt. Der Styleguide ersetzt keine vollständige Spezifikation, sondern enthält Baukastenelemente zur flexiblen Anwendung. Die Gestaltungslösungen sind nach aktuellem Wissensstand erstellt und gliedern sich in mehrere Teile:

In einer Einführung werden die wesentlichen Grundlagen wie Bemaßungen, Begriffe und Definitionen dargelegt.

Es folgt ein Kapitel in der die grundlegende Struktur der verschiedenen TID Seiten beschrieben ist, also das allgemeine Layout mit Bemaßungen und den jeweiligen spezifischen Eigenschaften. Sollten zukünftige weitere TID Seiten erstellt werden, die bisher noch nicht berücksichtigt wurden, kann man sich an diesem Grunddesign orientieren.

Kapitel 3 enthält die eigentlichen Entwurfsmuster, bzw. Designvorlagen der Anzeige- und Bedienelemente. Es wird genau spezifiziert, welche Farben, Schrifttypen und -größen verwendet werden sollen. Alle relevanten Eigenschaften, wie Größe, Anordnung, Abstände usw. der im TID vorgesehenen Bedienelemente sind hier pixelgenau beschrieben. Nach Möglichkeit werden Entscheidungsempfehlungen gegeben, um zu beurteilen zu können, welches Bedienelement in einer bestimmten Designfrage am besten geeignet ist.

Im Kapitel 4 werden dagegen die Interaktionsmuster beschrieben, d.h. wie die einzelnen Bedienelemente benutzt werden, Daten eingegeben werden und die Systemrückmeldungen gestaltet sein sollen. Einheitliche Interaktionsmuster sind wichtig, damit der Nutzer sicher sein kann, dass das System sich immer einheitlich und erwartungsgemäß verhält, egal in welchem Kontext man sich momentan befindet. Dieses Kapitel ist noch offen, da bei Drucklegung des Styleguides wesentliche Bedienphilosophien noch nicht festgelegt werden konnten.

Daneben gibt es noch ein ausführliches Literaturverzeichnis und Leseempfehlungen zur weiterführenden Einarbeitung in das Thema Gestaltung von Benutzungsoberflächen. Schließlich enthält der Styleguide einen Anhang, mit allgemeingültigen Richtlinien, Prinzipien und Empfehlungen, die über die Gestaltung des iCAS TID hinausgehen. Diese sollen als Hintergrundinformation und gegebenenfalls auch als Anregung für die Gestaltung weiterer Designelemente dienen.

Abbildung 2 bis Abbildung 5 zeigen exemplarisch einige Abbildungen aus dem Styleguide und sollen u.a. einen Eindruck von der Detailtiefe der darin enthaltenen Spezifikationen geben.

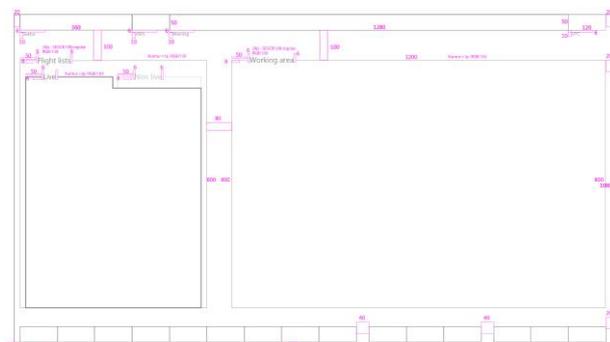


Abbildung 2: Seitenlayout der Restpage mit Spezifikationen

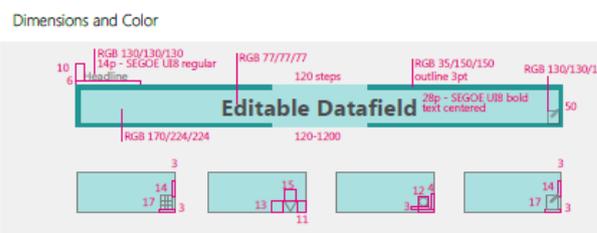
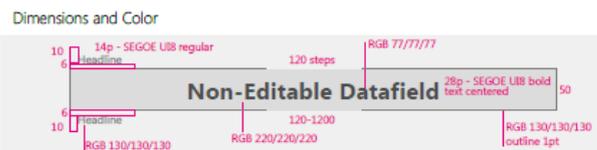


Abbildung 5: Beispiele von Datenfeldern mit Spezifikationen

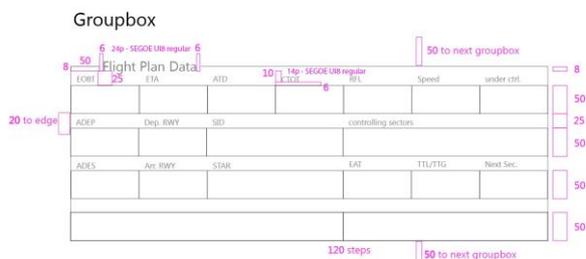


Abbildung 3: Grundlegendes Layout einer Groupbox

Flight Plan Data						
EOBT	ETA	ATD	CTOT	RFL	Speed	Current Sector
1200	1300	1215	1215	F250	N0450	F243
ADEP		Dep. RWY	SID	controlling sectors		
EDDH		05L	DODEN5J	11F2431 11Z2431		
ADES		Arr. RWY	STAR	EAT	TTL/TTG	Next Sec.
EDDM		08R	GESLU1A	1248	+ 20	Z2431
remarks place here				remarks place here		

Abbildung 4: Beispiel für die Gestaltung einer Groupbox

Zusätzlich zum Styleguide wurden Schablonen (s. Abbildung 1) erstellt, mit der auf einfache und schnelle Weise Styleguide-konforme Entwürfe 1:1 auf Papier erstellt werden können. Abbildung 6 zeigt die sog. Quick Reference, die als Falblatt erstellt wurde und welche die wesentlichen Inhalte des Styleguides zusammenfasst.

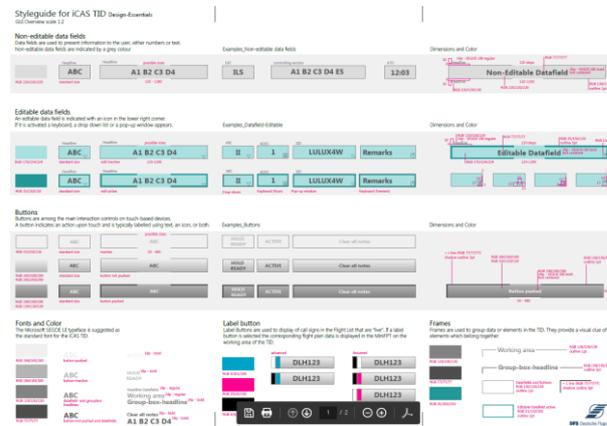


Abbildung 6: Quick Reference (Ausschnitt)

Ausblick

Die erste Anwendung des Styleguides wird vermutlich mit der Verfügbarkeit des TID Configuration Tools (TCT) erfolgen. Dieses Tool wird von der Firma Indra bereitgestellt. Auf Basis der dann vorliegenden Erkenntnisse ist weiterer Anpassungsbedarf für den Styleguide zu erwarten. Ebenso sind erst dann eingehendere Erfahrungen der Adapteure des iCAS Anforderungsmanagements aus der praktischen Umsetzung des Styleguides verfügbar.

Optional zur verfügbaren Papierversion bestehen auch Ideen für eine elektronische Variante, wie z.B. einem

Wiki, über das Designelemente per einfachem drag & drop zur weiteren Verwendung in Office Anwendungen zur Verfügung stehen. Über die Umsetzung dieses Vorschlages ist noch zu entscheiden.

Im konkreten Anwendungsfall sollte sich jedoch bereits jetzt eine Verringerung der Aufwände bei der Anforderungserhebung in den iCAS Taskforce Workshops durch die Verfügbarkeit eines Regelwerks zur Gestaltung der Benutzungsoberflächen abzeichnen. Durch die im Styleguide verfügbaren Designbausteine sollte sich zudem eine Vereinfachung für die Programmierung der TID Prototypen ergeben.

Abkürzungen

ASW	Air Situation Window
ATS	Air Traffic Services
FPT	Flight Plan Template
HMI	Human Machine Interface
iCAS	iTEC Center Automation Systems
iTEC	interoperability Through European Collaboration
TCT	TID Configuration Tool
TID	Touch Input Device

Referenzen

[1] Gnichwitz, S., Aigner, S. & Scheumeister, A. (2017) iCAS: iCAS läuft. DFS Intranet Veröffentlichung vom 13.11.2017

[2] Nielsen, Jakob (1993). Usability engineering. Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-518406-9

[3] EUROCONTROL Experimental Center (2003). Style Guides for ATM Development. EEC Note No. 02/03

[4] Berufsverband der Rechtsjournalisten e.V. (2017). Bildschirmarbeitsverordnung (BildscharbV). URL aufgerufen am 14.12.2017: <https://www.arbeitsschutzgesetz.org/bildscharbv/>

[5] Tauss, G. (2017). Die F&E-Programme SESAR 1 und SESAR 2020 – Rückblick und Ausblick. Innovation in Fokus 1/2017

[6] SESAR (2013). P16.05.03 D06 Updated Generic SESAR Information Presentation Guide. Ed. 00.01.00

[7] SESAR (2014). P05.09 D101 2014 HMI Operational Styleguide. Ed. 00.01.00

[8] SESAR (2013). P10.10.02-D08 TMA/Enroute specific style guide. Ed. 00.01.01

[9] Görner, C. (2003). Styleguides – Vom Ladenhüter zum Steuerungsinstrument. In J. Machate & M. Burmester (Hrsg.), User Interface Tuning. Benutzungsschnittstellen menschlich gestalten (pp.139 - 163). Frankfurt: Software & Support Verlag.

[10] Gale, S. (1996). A Collaborative Approach to Developing Style Guides. Conference proceedings on Human Factors in Computing Systems. Vancouver: ACM Press, S. 362-367.

[11] Deutsche Akkreditierungsstelle (2010). Leitfaden Usability. DAKKS URL aufgerufen am 14.12.2017: https://www.dakks.de/sites/default/files/71_sd_2_007_leitfaden_usability_1.3_0.pdf

[12] DIN SPEC 92412 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Auditverfahren für den Entwicklungsprozess interaktiver Produkte auf der Grundlage von DIN EN ISO 9241-210

[13] Scheider, W. (2008). Ergonomische Gestaltung von Benutzungsschnittstellen. Kommentar zur Grundsatznorm DIN EN ISO 9241-110. 2.Auflg., Berlin: Beuth Verlag GmbH.

[14] Experiencedynamics, (2017). UI Style Guides. URL aufgerufen am 14.12.2017: <https://www.experiencedynamics.com/approach/ui-style-guides>

[15] Buxbaum, J. (2015). Der „conceptdesk“ im DFS-Forschungszentrum – ein Lotsenarbeitsplatz „von übermorgen“ zum Anfassen. Innovation im Fokus 2/2015.

[16] Bergner, J. (2009). Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller. TE im Fokus 1/2009.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) in der DFS

Michael Lüttel

Hintergrund

Die DFS wird in den nächsten Jahren ihre Ortungsinfrastruktur erneuern, da die Radaranlagen zum Ende ihrer Lebensdauer kommen. Die Erneuerung wird bis ca. 2030 dauern und durch das Projekt MaRS (Modernisation and upgrade of existing radar infrastructure) gesteuert.

Das Projekt MaRS erstreckt sich in der gegenwärtigen Planung auf die Erneuerung der Radaranlagen, welche in den nächsten Jahren weiterhin das wesentliche Ortungssystem der DFS darstellen werden. Alternative Ortungssysteme werden im Projekt für die nachfolgende(n) Phase(n) optional berücksichtigt, indem Radaranlagen des Typs Medium Range Radar – Mode S (MRR-M) identifiziert sind, die einer Erneuerung im besten Fall nicht mehr unterzogen werden müssten, falls alternative Ortungssysteme wie ADS-B zukünftig die bestehenden betrieblichen Anforderungen erfüllen können.

ADS-B eignet sich als Ersatz für MRR-M Anlagen, welche in erster Linie zur Sicherstellung der geforderten dreifachen Mode S-Überdeckung im Streckenbereich dienen. Für die eingesparten Radaranlagen wäre als Ersatz der Aufbau eines ADS-B-Layer notwendig.

Da es sich bei den MRR-M Anlagen (heutige Stand Alone-Radaranlagen) um Anlagen handelt, die eine Anwendung der 3 NM-Staffelung

erlauben, wird für einen zukünftigen ADS-B Layer eine entsprechende Genauigkeit und Datenintegrität gefordert.

Der Einsatz von ADS-B trägt langfristig zu einer Kostenreduzierung bei. Kurzfristig werden die durch die reduzierte Anzahl von Radaranlagen erzielten Einsparungen mit Rückgriff auf vorhandene DFS-Standorte zu einem Teil für die Erstellung der notwendigen ADS-B-Infrastruktur und Anpassungen der ATM-Systeme verwendet werden müssen, da in einem solchen Entwicklungsprojekt noch technologische Herausforderungen für den heute mit Radar abgedeckten Luftraum zu erwarten sind.

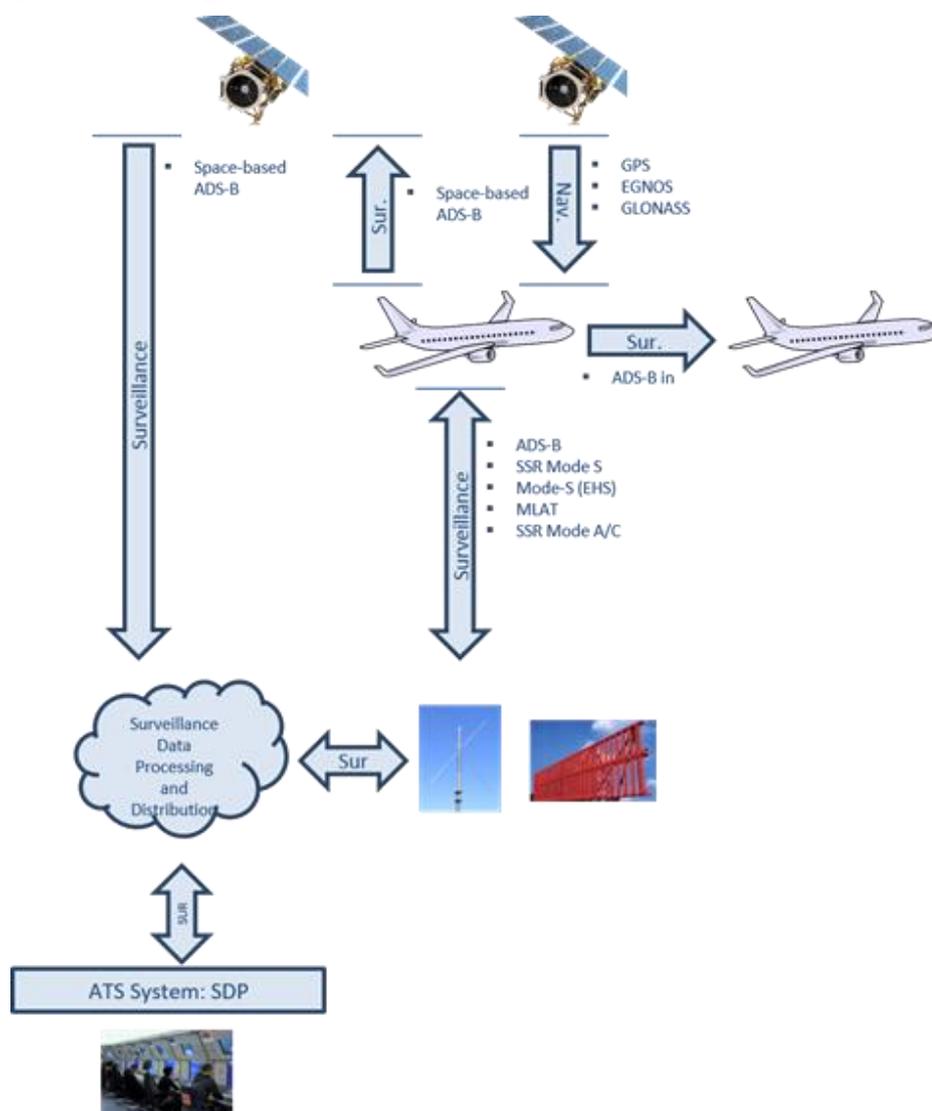


Abbildung 1: ADS-B Funktionsweise

Aus mittel- bis langfristigen wirtschaftlichen Gesichtspunkten bildet deshalb dieser Ansatz ein starkes Motiv und eine sinnvolle Variante für eine zukünftige Nutzung von ADS-B. Deshalb hat die DFS im Strategischen Architekturplan Surveillance (SAS) festgehalten, dass ein Verbleib bei den konventionellen Radarsystemen bzw. die Alternative eines flächendeckenden Einsatzes von MLAT (Multilateration) für die DFS keine günstigen Handlungsoptionen darstellen.

Aus den o.g. Gründen wurde ein Konzept zur Nutzung von ADS-B in der DFS erstellt, welches mittels des Programms ADS-B umgesetzt und die Projekte zur Ortungsstrategie koordinieren und bündeln soll.

ADS-B

ADS-B läutet einen Paradigmenwechsel in der Ortung ein. Bisher wird die Position eines Luftfahrzeugs durch Radaranlagen ermittelt und zur Luftlagedarstellung genutzt. Zukünftig werden die Daten eines mit einem ADS-B-fähigen Transponder ausgerüsteten Luftfahrzeugs, welches die mittels GNSS (Global Navigation Satellite Systems) bestimmte Position und weitere Flugdaten zyklisch als Broadcast an die Umgebung (z.B. Satelliten, Bodenanlagen, andere Luftfahrzeuge) sendet (ADS-B out), zur Luftlagedarstellung genutzt.

Diese Daten können ebenso von anderen Luftfahrzeugen empfangen und verarbeitet werden (ADS-B in) und dem Piloten die Luftlage darstellen.

Verordnungen

Der rechtliche Aspekt wird bisher in der SES DVO 1207/2011 „Durchführungsverordnung zur Festlegung der Anforderungen an die Leistung und die Interoperabilität der Überwachung im einheitlichen europäischen Luftraum“ geregelt.

Die juristische Auslegung der Verordnung ist, dass ab dem 02. Januar 2020 die DFS die Fähigkeit zur Verarbeitung der an Bord bereitgestellten Daten (z.B. Mode S Enhanced Surveillance) aufweisen muss, was mit den in der DFS betriebenen Mode-S Anlagen bereits gegeben ist. Dieses gilt für alle Flüge des allgemeinen Flugverkehrs, die mit Luftfahrzeugen mit mehr als 5,7t zulässigem Gesamtgewicht und einer Geschwindigkeit von mehr als 250 Knoten unter Instrumentenflugregeln im kontrollierten Luftraum durchgeführt werden. Damit gilt die Verordnung nicht für alle IFR fliegenden Luftfahrzeuge. Zusätzlich gelten Ausnahmen für verschiedene Staatsluftfahrzeuge.

Die DVO 1207/2011 zur Festlegung der Anforderungen an die Leistung und die Interoperabilität der

Überwachung im einheitlichen europäischen Luftraum wurde durch die DVO 1028/2014 ergänzt. Diese Ergänzung beinhaltet im Wesentlichen die Verschiebung der Mandatstermine für Luftfahrzeuge, die in folgender Tabelle zusammengefasst sind:

Tabelle 1 : Mandatstermine

Mandats- termine	ELS	EHS	ADS-B
Forward fit	08.01.15	08.06.16	08.06.16
Retrofit	07.12.17	07.06.20	07.06.20
Staats-Lfz	07.06.20	07.06.20	07.06.20

Die Weiterentwicklung der Verordnung DVO 1207 wurde der EASA in einer „Rule Making Task“ (RMT) übertragen. Der Abschluss dieser Arbeiten war aktuell bis Mitte 2018 geplant, ist aber aufgrund der unterschiedlichen Positionen und Interessen (Airlines, ANSP) zurzeit offen. Parallel werden verschiedene Aktivitäten bei Eurocontrol und EUROCAE durchgeführt, damit eine harmonisierte Umsetzung der Verordnung erfolgen kann. Es ist nicht auszuschließen, dass die DVO 1206/2011 in diese Aktivitäten mit einbezogen wird.

ADS-B Ausrüstungsgrad

Wie in der DVO 1207/2011 beschrieben, müssen nur Lfz mit ADS-B ausgerüstet sein, deren MTOW größer 5,7t und /oder deren TAS größer 250kts ist. Daher ist der Nutzen von ADS-B abhängig vom Ausrüstungsgrad. Dieser beinhaltet die unterschiedlichen ADS-B Versionen, die am Markt verfügbar sind. Die Verordnung gibt die ADS-B Version 2 vor, welche gegenüber den anderen Versionen die Qualitätsparameter enthält, vollständige ADS-B Daten übermittelt und genauere Positionsdaten durch das GNSS beinhaltet.

Betrachtet man nur die mandatierte ADS-B Ausrüstung Version 2 beträgt der Anteil der Luftfahrzeuge an der ADS-B Gesamtpopulation derzeit um 20 %. Dieser Wert muss in den nächsten Jahren während der Umsetzung der DVO 1207/2011 und 1028/2014 signifikant steigen, um das Mandat erfüllen zu können. Daher wird mittelfristig ein Rückgang der ADS-B Version 0 und 1 erwartet bei gleichzeitigem Anstieg der ADS-B Version 2.

Der Vergleich der ADS-B Ausrüstung zwischen Air Transport und General Aviation Luftfahrzeugen zeigte erwartungsgemäß, dass bei den Airlines der

Ausrüstungsgrad deutlich höher und auch die Qualität der ADS-B Daten besser ist.

Security

Konventionelle Radarsysteme werden in Primärradar (PSR) oder Sekundärradar (SSR) eingestuft. Das Primärradar ist unabhängig und stellt keine Anforderung zur Kooperation mit dem Lfz. Die Position wird über die Reflektion eines Lfz mittels eines hochfrequenten Signals bestimmt. Das Sekundärradar benötigt einen Transponder an Bord des Lfz, welches auf Anfragen der Bodenstation mit einer Kennung und Höhe (Mode C) und ggf. weiteren Informationen antwortet. Die Entfernung und der Winkel des Lfz zur Radaranlage (2-dimensionale Position) werden dabei unabhängig vom Lfz ermittelt. Im Kontrast zu PSR und SSR benötigt ADS-B die Mitwirkung des Lfz zur Positionsbestimmung und ist damit nicht mehr unabhängig. Aus diesem Grund ist die Identifizierung der gelieferten Daten wichtig, da die ADS-B Meldungen nicht verschlüsselt sind und damit eine Manipulation möglich machen.

In Anbetracht der technologischen Entwicklung und der Verfügbarkeit von günstigen Software Defined Radios (SDR)¹ ist die realistische Gefahr, der Manipulation von Daten mit einfachen Mitteln gegeben. Als mögliche Szenarien könnten das Simulieren eines Lfz (ghost aircraft), die Manipulation von Lfz Positionen oder anderen Daten betrachtet werden. Die Kombination von ADS-B Daten und öffentlich im Netz zugänglichen Informationen können die manipulierten Daten als sehr realistisch erscheinen lassen.

Die o.g. Szenarien sind bei einer ADS-B „only“ Abdeckung nur schwer zu identifizieren und könnten nur zum Teil durch komplexe mathematische Algorithmen erkannt werden. Etwas anders sieht es aus, wenn neben der ADS-B Information auch Daten von konventionellen Radaranlagen vorliegen und diese miteinander abgeglichen werden können

Safety

Im Rahmen der formalen Sicherheitsbetrachtung (Safety) nach den Richtlinien der DFS werden die sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen einer

ADS-B Einführung bis hin zur Substitution eines ModeS-Layers analysiert.

Im Rahmen der zeitlichen Strukturierung des Programms (siehe Tabelle 3 unten) wurde für die Phase 1a festgelegt, dass auf alleiniger Basis von ADS-B Plots von den Trackern keine Tracks an das Darstellungssystem ausgegeben werden dürfen. Dies bezieht sich sowohl auf die Initiierung von ADS-B only Flugspuren als auch auf das Fortführen von Flugspuren, wenn ADS-B Positionsinformation z.B. bei Ausfall der konventionellen Ortung die einzige verbleibende Information darstellen würde. Da ADS-B Positionsinformationen in der Phase 1a und 1b als zusätzliche Ortungsdatenquelle zu allen bereits bestehenden Ortungsdatenquellen verarbeitet werden, entsteht aus der o.a. Festlegung keine Verschlechterung des erreichten Sicherheitsniveaus.

In der Phase 1b soll die o.g. Einschränkung aufgehoben werden. Bis dahin muss die Sicherheitsbewertung Ergebnisse liefern, ob und unter welchen Rahmenbedingungen dies möglich wäre.

Die fehlende Ausrüstungsverpflichtung für ADS-B Version 2 Transponder im Hinblick auf General Aviation kleiner 5,7 t MTOW bzw. kleiner 250 kts TAS wird derzeit für die Phase 1a und b als unkritisch angesehen, weil die ADS-B Verarbeitung im Oberen Luftraum (OL) oberhalb FL 245 eingeführt werden soll. Der betrachtete Luftraum ist für General Aviation (GA) nur eingeschränkt relevant.

In der Phase 2 und 3 soll die ADS-B Verarbeitung sukzessive auf den Unteren Luftraum ausgedehnt werden. In welcher Form dies geschieht, hängt von den Ergebnissen der Sicherheitsbewertung und der Ausrüstungsverpflichtung für die GA ab. Das Minimal-Szenario wäre wie in Phase 1a, das Maximal-Szenario wäre ein Ausbau unter Wegfall MRR-M Anlagen und damit eine (ggfs. teilweise) Substitution des dritten Mode S Layers.

Analyse einer deutschlandweiten ADS-B Empfangsabdeckung

Damit ein ADS-B Surveillance Layer in Deutschland etabliert werden kann, muss eine landesweite ADS-B Empfangsabdeckung gewährleistet werden. In der ADS-B Empfangsabdeckungs-Analyse wurden

¹ Unter **Software Defined Radio (SDR)** fasst man Konzepte für Hochfrequenzsender und -Empfänger zusammen, bei denen kleinere oder größere Anteile der Signalverarbeitung mit Software verwirklicht werden. Die Analogkomponente kann ein Geradeausempfänger oder ein Überlagerungsempfänger (Superhet)

sein. Vor allem Selektion und Modulation/Demodulation werden bei einem SDR mittels digitaler Signalverarbeitung verwirklicht. (Wikipedia).

Standorte, die bereits von der DFS betrieblich verwendet werden, bevorzugt berücksichtigt. Hierbei kommen neben Radarstandorten auch Navigations- und Kommunikationsstandorte (z. B. Rasum-Standorte) in Frage.

Die Standorte des PAM-FRA WAM Sensors wurden ebenfalls in der Betrachtung der ADS-B Empfangsabdeckungs-Analyse verwendet. Hier wurde davon ausgegangen, dass die entsprechenden Standorte der WAM Remote Units bereits über ADS-B Funktionalität verfügen. Die ADS-B Empfangsabdeckung, welche durch den PAM-FRA Sensor bereitgestellt wird, bildet eine hervorragende Grundlage zum Ausbau einer deutschlandweiten ADS-B Empfangsabdeckung. Da der PAM-FRA Sensor bereits betrieblich als WAM Sensor genutzt wird, wurden die 34 Empfangsstandorte bei der Analyse herausgerechnet.

Die Anzahl der notwendigen ADS-B Bodenstationen (Empfangsstandorte) für eine deutschlandweite Empfangsabdeckung ab 3000 ft über Grund wurden für unterschiedliche Mehrfach- Empfangsabdeckungen grob abgeschätzt. In der folgenden Tabelle werden die zusätzlich benötigten ADS-B Empfangsstandorte für eine n-fache Empfangsabdeckung beispielhaft aufgeführt:

Tabelle 2: Mehrfachabdeckung

Mehrfachabdeckung	1x	2x	3x	4x	5x
Anzahl der ADS-B GS pro x-Abdeckung	13	23	35	50	60

Welche Mehrfach-Empfangsabdeckung tatsächlich benötigt wird, hängt vom Anwendungsfall und dessen Performanceanforderungen hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit ab. Deswegen wird in Bereichen mit hoher Verkehrsbelastung und daraus resultierender hoher 1030/1090 MHz Funkfeldbelastung eher eine höhere Mehrfach-Empfangsabdeckung angestrebt. Wohingegen in Bereichen mit geringer Verkehrsbelastung eher eine geringe Mehrfach-Empfangsabdeckung ausreichend ist.

Durch Inbetriebnahme von Airport MLAT-Systemen mit ADS-B Funktionalität und die Nutzung dieser Daten im deutschlandweiten ADS-B Verbund lässt sich die Anzahl der notwendigen ADS-B Empfangsstandorte um je 1-3 ADS-B Bodenstationen reduzieren, abhängig von der gewählten Implementierung.

Funkfeldbelastung

Die Ortung von Luftfahrzeugen in der zivilen Luftfahrt basiert auf verschiedenen Systemen und Verfahren. Neben dem Primärradar, bei dem keine Bordausrüstung erforderlich ist, werden die

Sekundärradarkanäle 1030 und 1090 MHz hauptsächlich für SSR, SSR Mode-S, Multilateration und ADS-B genutzt. Dabei haben alle Systeme, wie Radare, Transponder und passive Sensorik, gleichzeitig und unkoordiniert Zugriff auf die SSR-Kanäle.

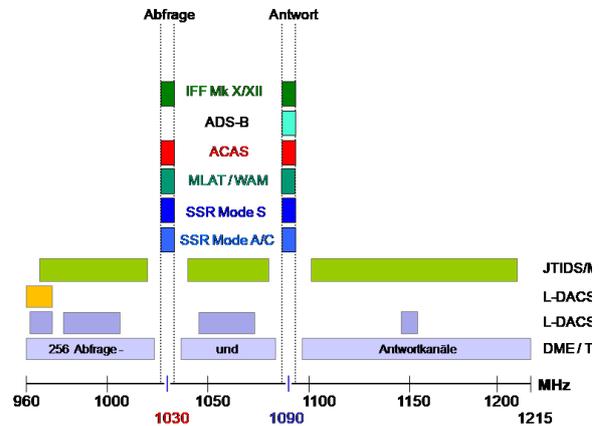


Abbildung 2: Funkfeldbelastung

Zusätzlich nutzen auch militärische Systeme die gleichen Frequenzen. Das kann zu starken Belastungen der Kanalkapazität und zu massiven Störungen durch überlappende Signale führen. Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Ortungssysteme hängt somit elementar von der Kanal- und Systemverfügbarkeit ab. Beides war in der Vergangenheit durch die zugewiesene Bandbreite sichergestellt. Durch die Einführung neuer Systeme und Dienste, wie ACAS, ADS-B, MLAT und die zunehmende Nutzung von Mode S-Diensten wie Elementary und Enhanced Surveillance (ELS/EHS), wurde die Kanalbelastung wesentlich erhöht. Zunehmender Luftverkehr führt zu einer Verknappung der verfügbaren Bandbreite bei gleichzeitig zunehmender Belastung der Transponder im Luftfahrzeug. Eine Überlastung der Kanäle und Transponder in verkehrsdichten Lufträumen kann zu verringerter Zielentdeckung bis hin zum Verlust der Zielüberwachung und -anzeige in den ATM-Systemen führen. Durch die Menge der militärischen und zivilen Abfrager und die hohe Konzentration der Luftfahrzeuge im deutschen Luftraum lag die Kanalbelastung im Jahr 2000 um den Faktor 7 bis 10 höher als im zu diesem Zeitpunkt bekannten Luftraum höchster Verkehrsdichte um Los Angeles. Messungen (PEGASUS-Projekt) belegen dies mit eindeutigen Zahlen.

Die EU hat mit der Durchführungsverordnung 1207/2011 die maximal zulässige, von boden-gestützten Abfragern verursachte, Transponderbelastung begrenzt. Gleichzeitig sind aber Squitter-Übertragungen, wie z. B. ADS-B, davon ausgenommen. Das lässt den Schluss zu, dass passive Ortungssysteme zukünftig bevorzugt eingesetzt werden

müssen bzw. bei schon erreichten Grenzwerten die einzige Alternative für einen weiteren Ausbau von Ortungsinfrastruktur darstellen. Der Einsatz von passiver Sensorik am Boden hat keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit der SSR-Kanäle, die Belastung erhöht sich dadurch nicht. Erst der Ersatz von aktiver Ortungstechnik, wie z.B. Radar, durch passive Systeme, wird sich durch sinkende Belastung positiv auf das 1030/1090 MHz-Funkfeld auswirken. Das würde helfen, die Forderungen der DVO 1207/2011 nachhaltig zu erfüllen.

Programm zur Umsetzung von ADS-B in der DFS

Wie Anfangs beschrieben soll das Programm die Projekte zur Ortungsstrategie koordinieren und bündeln, aber auch die Einführung von ADS-B und den damit verbundenen mittel- bis langfristigen wirtschaftlichen Vorteil umsetzen.

Tabelle 3: Phasen Umsetzung ADS-B in der DFS

Oberer Luftraum (OL)	Phase 1a	Nutzung des MLAT-Sensors PAM Frankfurt für die ADS-B Erfassung im OL CC Karlsruhe
	Phase 1b	Installation von zusätzlichen ADS-B Sensoren, um eine flächendeckende ADS-B-Erfassung im ZB CC Karlsruhe sicherzustellen
Unterer Luftraum (UL)	Phase 2	Aufbau ADS-B Infrastruktur zur Abdeckung des süddeutschen bzw. norddeutschen Luftraums
	Phase 3	Erweiterung ADS-B Infrastruktur hin zur deutschlandweiten Abdeckung

- Einsparungen beim Projekt MaRS, wenn mittels ADS-B auf Erneuerung von Radartechnik (Substitution einen der drei Mode S Radar-Layer) verzichtet werden kann.
- Mittel- bis langfristige Wirtschaftlichkeit (z.B. geringere Hardware- und Betriebskosten der ADS-B Sensorik und –Systemtechnik im Vergleich zu Radar unter Berücksichtigung der Kosten für Daten-Distribution).
- Wirtschaftliche Erfüllung eventueller neuer und zusätzlicher betrieblicher Anforderungen (z.B. Nordsee, Rheintal usw.).
- Politisch: Nutzung von im LfZ generierten Positionsdaten, damit Sinnstiftung für die Investition der Airlines in ADS-B Transponder.
- höhere Betriebssicherheit der Sensoren durch bessere Robustheit gegenüber extremen Wetterbedingungen.
- Unterstützung der SESAR Aktivitäten durch praktische Erfahrung.

- Bei Bedarf höhere Update-Raten möglich als bei Radar.
- Gewährleistung einer 3NM Stafflung (mit höherer Updaterate als bei Radar).
- Generierung von Surveillance-Daten ohne (zusätzliche) Funkfeldbelastung, d. h. Verringerung der Funkfeldbelastung (Passive Zielakquisition) im Falle möglicher Substitutionen von SSR-Anlagen.
- Verbesserung des FIS möglich.
- Verbesserungen bei SAR möglich.
- Vermarktbarkeit der ADS-B Daten z.B. für Flughäfen.

Umsetzung ADS-B in der DFS

Die Umsetzung und Nutzung von ADS-B in der DFS ist in den nachfolgenden Phasen bis zur erfolgreichen Inbetriebnahme beschrieben. Dabei werden die Phasen bis zur Etablierung eines „Dritten Layer“ und mögliche weitere Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die Phasen unterteilen sich in mehrere Teilprozesse, die im Rahmen der Realisierung und Transition durchgeführt werden müssen.

Weitere Nutzung von ADS-B

Der Aufbau einer ADS-B Infrastruktur in der Nordsee (z.B. Bohrinseln) könnte als kommerzielles Geschäftsfeld für den Offshore-Helikopter-Verkehr dienen, da die heutige Ortungsinfrastruktur (z.B. Tiefenerfassung) eine Luftlagedarstellung nicht oder unzureichend unterstützt. Es ist zu erwarten, dass es für den Fluginformationsdienst der DFS zu einer Verbesserung der Luftlagedarstellung kommen wird.

Abkürzungsverzeichnis

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
ANSP	Air Navigation Service Provider
ATM	Air Traffic Management
DVO	Durchführungsverordnung
EHS	Enhanced Surveillance
ELS	Elementary Surveillance
EU	European Union
FIS	Flight Information Service
FRA	Frankfurt Rhein-Main
GA	General Aviation
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
Lfz	Luftfahrzeug

MaRS	Modernisation and upgrade of existing radar infrastructure
MLAT	Multilateration
MRR-M	Medium Range Radar – Mode S
MTOW	Maximum Take-Off Weight
NM	Nautical Mile
OL	Oberer Luftraum
PAM	Precision Approach Monitoring
PAM-FRA WAM	Precision Approach Monitor Frankfurt Wide Area Multilateration
PEGASUS	Performance Experiments in Germany on ADS-B Using Mode S Extended Squitter
PSR	Primary Surveillance Radar
RASUM	Radio Site Upgrade and Modernisation
RMT	Rule Making Task
SA	Stand Alone
SAR	Search and Rescue
SAS	Strategischen Architekturplan Surveillance
SDR	Software Defined Radios
SES	Single European Sky
SSR	Secondary Surveillance Radar
WAM	Wide Area Multilateration

Referenzen:

[1] Matthias Schäfer, Vincent Lenders and Ivan Martinovic (2013). Experimental Analysis of Attacks on Next Generation Air Traffic Communication. Proceeding of the 11th International Conference on Applied Cryptography and Network Security (ACNS), Banff, AB, Canada

Mode N – A Concept of Modern Navigation and an Alternative Position, Navigation & Timing System for Aviation

Steffen Marquard

Abstract

Mode N [N=Navigation] is a new concept for a ground-based system to provide navigation service by complementing and later substituting the currently used distance measurement equipment (DME) with a system based on secondary surveillance radar signals while retaining legacy DME functionality. Mode N as a terrestrial system can provide an alternative position, navigation and timing system (APNT) to backup global navigation satellite systems. This paper provides a brief description on the motivation to develop Mode N, the system concept and expected benefits.

Background and Motivation

A large number of civil and military navigation and surveillance systems and services use the frequencies on a co-shared basis of the frequency band assigned by the International Telecommunication Union to the Aeronautical Radio Navigation Service (ARNS), the Radio Navigation Satellite Service (RNSS) and the Aeronautical Mobile Route Service (AM(R)S) from 960 to 1215 MHz (L-Band). Almost all of these systems are related to flight safety. Harmful interference to them has to be avoided. In addition to the originally foreseen use by

distance measurement equipment (DME) and secondary surveillance radar (SSR), other systems were added to the band without releasing any spectrum from existing services. Future plans show even more systems occupying L-Band frequencies, which add spectrum load and radio frequency (RF) congestion. Under these conditions the interoperability of systems has to be ensured, and all potential incompatibility issues have to be resolved before new systems can be brought into operation.

With global navigation satellite systems (GNSS) a new and modern navigation source is available, but remains also vulnerable to RF interference. The growing use of GNSS demands for a solution, which can provide functionality and safety during interference situations.

New systems intended for operation in the L-Band shall not only improve performance of legacy services, but also provide functions to reduce the spectrum load generated by onboard and ground-based installations, and in a long term view free spectrum for future use of CNS systems from aviation. For the introduction of new systems and applications, it is essential to provide a straightforward transition to the new environment. Time for standardization and

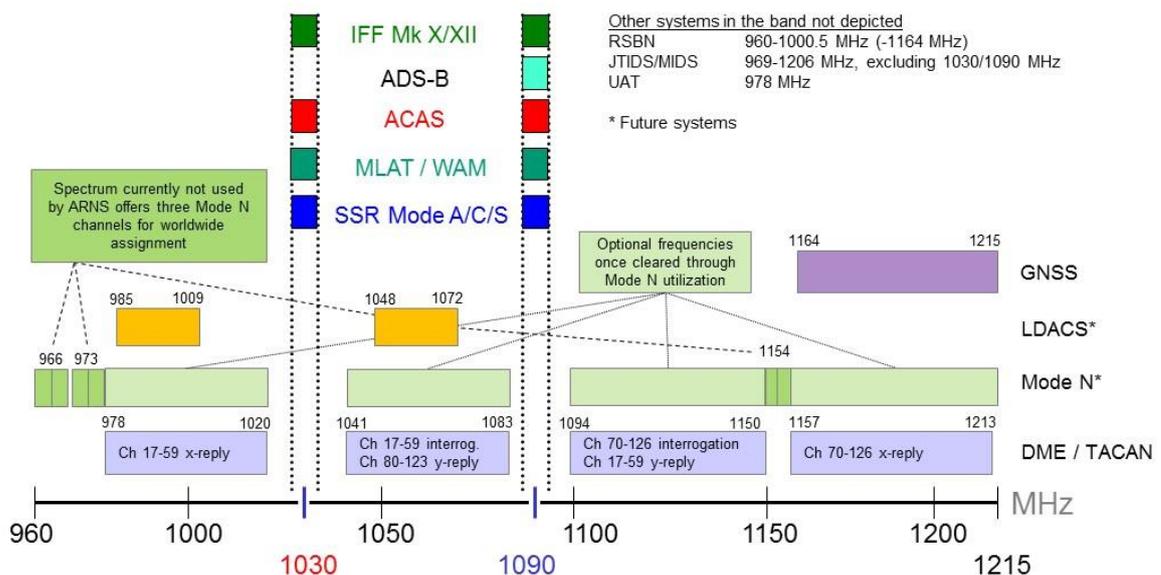


Figure 1: L-Band utilization overview

implementation effort has to be considered, changes to avionics should be minimized and allow gradual implementation.

Introduction

Mode N is a new concept for a ground-based system to provide navigation service by substituting DME with a system based on SSR/Mode S signals while retaining legacy DME functionality. Since Mode N is designed to operate on a single frequency, it provides the opportunity to release a significant part of the L-Band currently occupied by DME. Mode N channels can be defined in parts of the L-Band, which are not usable due to protection of the SSR frequencies at 1030 and 1090 MHz from DME interferences. Assuming the overall accuracy is sufficient to satisfy performance based navigation requirements, Mode N can provide an alternative position, navigation and timing system to backup GNSS.

Mode N is based on the multilateration principle to measure the time difference of arrival (TDOA) of signals transmitted by Mode N ground stations and received by the aircraft Mode N system. The frequency agile multimode aircraft Mode N transceiver can also use two-way slant range measurements as necessary. It is intended to replace directly the existing DME interrogator, i.e. there is no requirement for additional space nor an additional antenna to be integrated into an aircraft.

Mode N uses existing SSR/Mode S signal and data transmission specifications already defined in ICAO standards. In consequence, this should shorten standardization and design time compared to the standardization and implementation of a completely new system.

System concept

In multilateration (MLAT) systems, a number of ground stations synchronized in time receive a signal from an aircraft. Due to the different ranges from the aircraft to the ground stations, the signal arrives at different times at the individual ground stations. The time differences of arrival (TDOA) of the signals and the pseudo-ranges respectively are used to calculate the position of the aircraft in the ground MLAT system. The time differences or ranges between two ground stations result in an infinite number of locations on a hyperboloid. A further

measurement with a third ground station will result in a second hyperboloid and the intersection of both hyperboloids results in a curve. Using the earth's plane to intersect this curve will give a point on the ground or a 2-D position. To derive a unique point in space or a 3-D position, another measurement with a fourth ground station is necessary.

Mode N reverses this method: It uses the signals broadcasted from Mode N ground stations, the

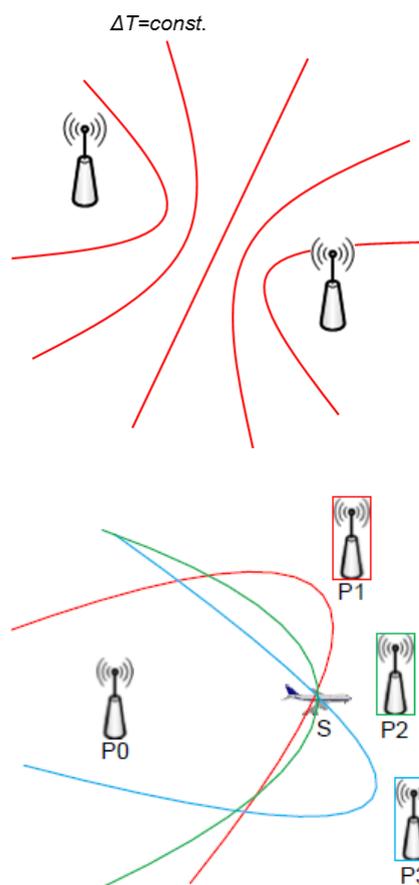


Figure 2: Multilateration principle, TDOA measurement and position determination

aircraft transceiver determines the time differences of arrival and calculates the aircraft position without any need for active interrogations. The ground stations broadcast the following information in the so called Mode N squitter:

- ground station's antenna location in WGS-84 coordinates,
- antenna height,
- time of transmission,

- a unique ground station identifier, which would allow the aircraft systems to retrieve the coordinates from an onboard navigation database,
- the ground station status.

All Mode N ground stations are synchronized in time. Time synchronization is established via GNSS, RF time beacons and (mainly for backup and redundancy purposes) a local high precision clock.

Mode N also provides an active mode where the aircraft transceiver interrogates the desired ground station to:

- induce more Mode N squitter from the ground to accomplish the TDOA measurements (integrity enhancement),
- precisely synchronize the onboard Mode N system clock with the ground station clock (accuracy enhancement),
- determine the aircraft position with a two way ranging method and using slant ranges instead of TDOAs; This could mitigate a ground station time synchronization loss or a lack of ground stations for passive operation at low altitudes, e.g. approach and landing phase, and
- ensure the backward compatibility to DME. The transceiver is designed to emulate full DME capability.

The Mode N interrogation signal format is the same as used for the Mode N squitter, but the telegram content is different. The aircraft Mode N transceiver is able to limit its interrogation power to reduce spectrum load while ensuring a safe link to the ground station.

Mode N position accuracy is dependent on the ground station time synchronization, TDOA measurement accuracy, geometry of the spatial distribution of ground stations and the position of the aircraft. The resulting dilution of precision (DOP) is an indicator of the system's performance and accuracy and has to be considered for the complete intended Mode N coverage area and ground station topology versus the required performance. The detailed DOP evaluation for a given environment is considered future work, but current wide area multilateration systems (WAM), which use the same principle of position determination, are able to provide an accuracy of 30 to 50 meters.

Implementation options

A new development allows some freedom in the design of the system. Instead of having separate devices installed onboard an aircraft, it is possible to combine the L-Band systems in one box. A window of opportunity for future aircraft equipage presents itself, when future LDACS receivers should be required for new communications receivers. Since a Mode N aircraft transceiver composes of independently operated transmitters and receivers using different frequencies, the system is also not bound to coordination with other L-Band systems. This results in a reduced onboard mutual suppression and improve SSR transponder availability while SSR/Mode S and Mode N operate in parallel. In addition, a single box design will save installation space. Furthermore, the interoperability of Mode N with other DME frequencies will allow – once the Mode N frequency is selected either regionally or worldwide – that Mode N receivers can co-exist with installed DMEs and no "fixed date approach" is required to introduce the new service.

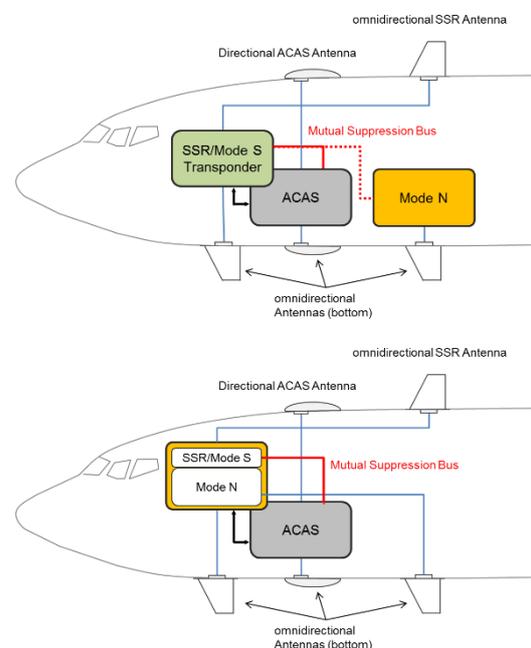


Figure 3: Proposed options (top) DME/TACAN substitution and (bottom) Single Box Mode N

The distribution of ground stations can be oriented on already available DME installations. Results of a first study prove that for example the current DME sites in Germany can be used for Mode N installations without causing gaps in the navigation coverage. However, additional RF time beacon sites may be needed to close gaps in the time synchronization network.

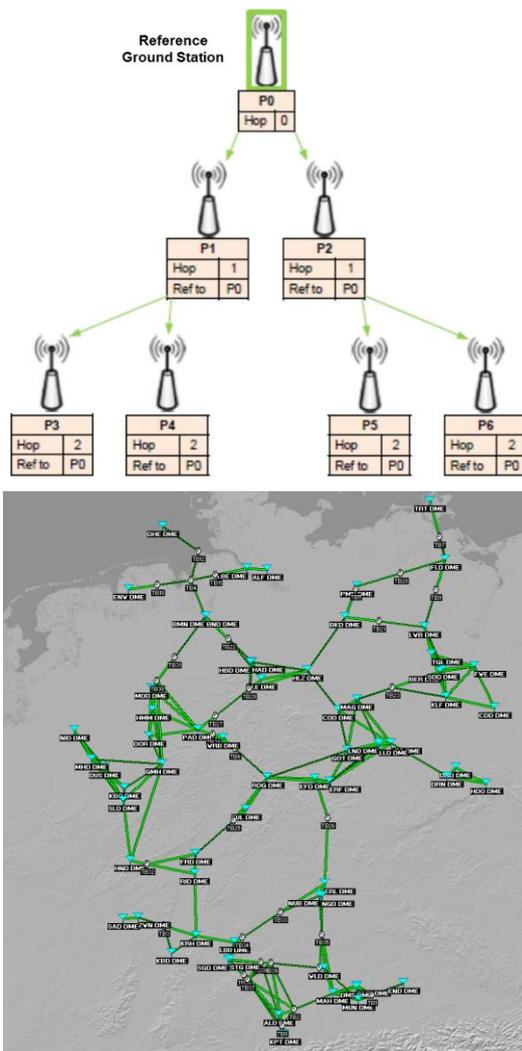


Figure 4: Time synchronization principle (top)
Ground station network with time beacons (bottom)

Expected benefits

Mode N offers a number of benefits with respect to efficient spectrum use, transition from legacy to the new system and new applications like APNT. It would also provide the opportunity to introduce new and reallocate legacy systems within the L-Band without frequency/channel

competition or limitations due to legacy systems. Mode N is a system concept that provides the opportunity to be used globally in civil and military applications in the future.

The expected benefits of a Mode N system are:

- Single channel operation allows to replace existing DME and TACAN (Tactical Air Navigation, military) channels. This could:
 - release a significant part of the L-Band,
 - decrease the demand and reduce the RF-Load on 1030/1090 MHz by reallocation of legacy services, including military,
 - allow to establish additional channels for surveillance, navigation and communication (system enabler).
- The airborne Mode N transceiver
 - is multimode capable (frequency agile) and provides DME and TACAN interrogator functionality for legacy navigation support in areas without Mode N ground infrastructure.
 - allows a flexible use of the system between changing ground environment and offers a smooth transition from a DME to a Mode N infrastructure.
 - operates passive, but can also interrogate ground stations of interest with adjustable power needed for a safe link (reduction of spectrum impact).
 - is intended to replace the existing onboard DME or TACAN interrogator. Neither additional space nor an additional antenna is needed to install Mode N on an aircraft.
 - could combine Mode N, DME/TACAN and possibly SSR/Mode S functionality in a one-box design, and hence reduce the on board interference and improve SSR transponder availability.
- Mode N ground stations are easy to deploy and can use already existing surveillance, navigation or communication sites as necessary.
- Mode N uses existing International Civil Aviation Organization (ICAO) standards and specifications for SSR/Mode S signals and data transmission. This should significantly

shorten standardization and design time compared to the standardization and implementation of a completely new system.

- Mode N is a candidate APNT system for a terrestrial GNSS backup.

Current status and outlook

In 2012 the first time the Mode N idea was published in the DFS research magazine. The detailed work started in 2014 with development of a Mode N concept as a baseline document, which was further developed in the Single European Sky ATM Research (SESAR) program in 2015/2016. Starting in 2015, detailed work on signal formats, time synchronization and system design was conducted. Signal generation and reception was successfully tested with help of software defined radios (SDR). The layout of a Mode N ground station system, the detection of gaps in the navigation coverage and the development of a time synchronization network were topics in a study, which ended with positive results in early 2017.

The German Armed forces Technical Center for Aircraft and Aeronautical Equipment in cooperation with DFS Deutsche Flugsicherung GmbH currently develops a Mode N testbed to evaluate the system under military aspects. Despite the objective to provide a civil navigation service, the current work also focusses on additional military requirements, e.g. passive operation, spoofing resilience, integrity monitoring and selective availability.

The next steps for the refinement of the system concept are:

- Development of a test environment
- Mode N performance analysis in simulations and with the testbed
- Optimization of the positioning algorithms and the ground station network

Dieser Artikel basiert auf einem Beitrag des Autors zum International Symposium on Precision Approach and Performance Based Navigation ISPA 2017, welches von der Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation e. V. (DGON) durchgeführt wurde.

Abbreviations

AM(R)S	Aeronautical Mobile Route Service
APNT	Alternative Position, Navigation & Timing System
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service
CNS	Communication Navigation Surveillance
DME	Distance Measuring Equipment
DOP	Dilution of Precision
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
ICAO	International Civil Aviation Organisation
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communications System
MLAT	Multilateration
RF	Radio Frequency
RNSS	Radio Navigation Satellite Service
SDR	Software Defined Radios
SESAR	Single European Sky ATM Research
SSR	Secondary Surveillance Radar
TACAN	Tactical Air Navigation
TDOA	Time Difference of Arrival
WAM	Wide Area Multilateration
WGS-84	World Geodetic System 1984

References

- [1] Marquard, S., Wollweber, J., Mallwitz, R., Proposal for a frequency flexible SSR/Mode N system, in „TE im Fokus - Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH“, Edition 2/2012, ISSN 1861-6364, 1861-6372, 2012
- [2] ICAO Navigation Systems Panel, NSP WG/WP 11 Rev.1, SSR/Mode N - ADS-B/Extended Squitter based Navigation and Data Link, 2013

- [3] ICAO Aeronautical Surveillance Panel, WP ASP14-16, SSR/Mode N - ADS-B/Extended Squitter based Navigation and Data Link, 2013
- [4] Mode N Introduction, Presentation at the DFS Military Customer Forum, 2015
- [5] Marquard, S., Wollweber, J. Mode N – Mode for Navigation, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 1.0, 2015
- [6] SESAR WP15.03.04 D13 "Mode N APNT System Concept Report", 2015
- [7] Heußer, M. Mode-N – Untersuchungen und Verifikation von Elementen und Funktionen des Systemkonzeptes. Hochschule RheinMain, University of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim, 2015
- [8] Marquard, S., Heußer, M. Mode N – Mode for Navigation, Modern Navigation, APNT & NAV Data-Link, Presentation at the DFS-Fachkolloquium, 2016.
- [9] Lettmair, A. Mode N - Untersuchung zur Entwicklung einer Mode N Boden-Infrastruktur, Technische Hochschule Ingolstadt, 2017

„StayCentered“: Nutzung von Sensorik zur Zustandserkennung und -prognose von Operateuren in der Flugverkehrskontrolle

Jörg Buxbaum, Prof. Dr. Paul Rosenthal (TU Chemnitz), Dr. Georg Valtin (TU Chemnitz) und Dr. Nicholas Müller (TU Chemnitz)

Abstract

A human being is the most flexible and adaptive technology of all. Nevertheless, the right support systems at the right time can bring large benefits. However, how do we know when someone could benefit from technological support? The StayCentered project is working on the idea of collecting physiological data that are then used to calculate the mental state of the air traffic controller. Information about the controller's mental state would allow for adaptive assistance and additional measures in a case where work overload is anticipated. Such a measure could, for example, limit the number of aircraft in the airspace being controlled or provide relief via adjacent sectors.

Automatisierung als Ziel der Flugsicherung

Rund 28.000 Flüge der kommerziellen Luftfahrt finden täglich über Europa statt [11]. Für ihre sichere Führung sind Fluglotsen der Flugsicherung zuständig. In den vergangenen Jahrzehnten ist die Automatisierung der Flugverkehrskontrolle insbesondere in der Streckenkontrolle deutlich gesteigert worden. Durch die Einführung von Warnsystemen, besseren Flugwegvorhersagen, einer Filterung der arbeitsplatzbezogenen Darstellung von Flugzielen und der Anwendung ergonomischer Farbkonzepte zur gezielten Aufmerksamkeitssteuerung konnte die Belastung der Fluglotsen bei der Bewältigung der Kontrollaufgaben reduziert werden. Diese Reduktion führte zu einer Verringerung der Beanspruchung der Fluglotsen und damit zu einer Steigerung der Luftraumkapazität und der Fluglotsenproduktivität – also der Zahl der Flugstunden, die pro Lotsenstunde kontrolliert werden.

Auch für die Entwicklungsrichtung weiterer Automatisierungsschritte in der Flugsicherung bleibt es bei einer auf Basis von Verkehrszahlen und subjektiven Parametern bestimmten Steuerung der tatsächlichen Belastung der Fluglotsen u.a. über Begrenzung von Verkehr in den verantworteten Lufträumen sowie absprachegemäßen Entlastungen durch benachbarte Lufträume. Einen geschlossenen Regelkreis stellt dieser Mechanismus nicht dar - insbesondere aufgrund des Fehlens von Ist- und Prognoseinformationen über den Beanspruchungszustand der menschlichen Operateure.

Ziele des Projekts „StayCentered“

Das „StayCentered“-Projekt der TU Chemnitz (gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF) verfolgt das Ziel, die physiologische [10] und kognitive Beanspruchung [7], [8], [9], [5] von Fluglotsen [6] anhand der Ableitung von mehreren sensorischen Daten zu erfassen und miteinander zu vergleichen. Auf dieser Basis soll eine Simulation der Fluglotsenbelastung in Echtzeit erstellt und Handlungsempfehlungen oder auf die Situation angepasste Visualisierungsmöglichkeiten des Interfaces angeboten werden. Darüber hinaus verfolgt das Projekt das Ziel, eine Voraussagekapazität für die Sektorplanung zur Verfügung zu stellen. Auf der Grundlage von bereits bewältigten Luftlagebildern kann so eine Empfehlung gegeben werden, inwiefern eine erhöhte personelle Ausstattung oder eine temporäre Umkonfiguration von Lufträumen in den Kontrollzentralen der DFS vorgenommen werden sollte, um Verkehrsspitzen optimiert bewältigen zu können. Darüber hinaus wird beabsichtigt, das Zusammenspiel eines Lotsenteams, der Dyade, genauer zu analysieren, um daraus Rückschlüsse über die notwendigen verbalen sowie nonverbalen Kommunikationsaspekte während der Arbeit zu erhalten. Insgesamt geht es also um eine Optimierung der Arbeitsbedingungen.

Rahmenbedingungen der Datenerhebung

Für die Untersuchungen wurde eine Echtzeit-Simulationsumgebung von Lotsenarbeitsplätzen der Streckenkontrolle gewählt, die sich im Forschungszentrum der DFS in Langen (Hessen) befindet. Die Datenerhebung erfolgt parallel zu einem laufenden Simulationsprojekt der DFS [2] mit Fluglotsen aus der Kontrollzentrale Bremen. Die simulierten Verkehrsszenarien zeichnet eine sehr hohe Verkehrsdichte aus, die die Fluglotsen bis an ihre Belastungsgrenze führen kann. Für die Untersuchungen des Projekts „StayCentered“ ist dieser Effekt eine der maßgeblichen Voraussetzungen, da das zu entwickelnde System vor allem in solchen Situationen Unterstützung bieten kann. Alle benötigten Parameter werden in der Echtzeitsimulation so exakt wie möglich nachgestellt, wozu neben zu testenden Fluglotsen auch eine Reihe weiterer, nicht direkt am Experiment beteiligter Lotsen und Piloten zählen, welche den Flugverkehr in

Nachbarsektoren simulieren. Das Verkehrsszenario selbst wird durch Experten der DFS entwickelt und in den Simulator eingespeist, wobei spezifische Anforderungen wie besonders verkehrsdichte Situationen, simulierte Notfälle im Cockpit oder Flüge ohne Flugplan in die Experimentalsituation eingebaut werden können.



Abb. 1: Versuchsdurchführung an einem experimentellen Lotsenarbeitsplatz im DFS-Forschungszentrum. Links und rechts über dem quadratischen Hauptbildschirm in der Mitte sind die Kameras zur Posen- und Mimikerkennung zu sehen. Der Proband trägt eine Brille zur Erfassung der Blickrichtung und des Pupillendurchmessers.

Ergänzend zu den Messungen am Simulator werden Beobachtungsstudien im laufenden Betrieb, Interviews mit den Lotsen und Umfragen durchgeführt. Der Einsatz dieser Methoden verfolgt hauptsächlich zwei Ziele: Zum einen können so Faktoren festgestellt werden, die sich im laufenden Betrieb anders verhalten als in einer Simulation. Zum anderen eröffnen Interviews und Umfragen einen Zugang zu den nicht direkt beobachtbaren, aber stressinduzierenden Variablen in der Fluglotsentätigkeit. Eine Zusammenfassung sämtlicher Methoden wird zur Analyse der bestehenden Systeme, sowie der Abschätzung des Potenzials der geplanten adaptiven Nutzerschnittstellen angewendet.

Selektion relevanter Parameter

Für die Erfassung der kognitiven Belastung von Fluglotsen verfolgt das „StayCentered“-Projekt einen umfassenden Ansatz zur Datenakquise bei der simulierten Luftverkehrskontrolle (siehe Abb.2). Mittels einer stereoskopischen Kamera werden Sitzhaltung und Bewegungen des Oberkörpers in drei Dimensionen erfasst. Dadurch ist es möglich, bspw. entspannte Körperhaltungen von denen während hoher

Konzentration zu unterscheiden und interpersonelle Kommunikation, verbal oder nonverbal, zu erfassen. Durch die Überprüfung von Hautleitfähigkeit, Herzrate und Hautoberflächentemperatur kann der biophysiological Zustand bezogen auf den emotionalen und kognitiven Zustand konstant gemessen werden. Dies erlaubt einen Rückschluss auf besonders anspruchsvolle Verkehrssituationen, wie auch auf Phasen der Unterforderung.

Gleichsam werden durch eine Erfassung der Blickbewegung sowohl diejenigen Elemente identifiziert, welche möglicherweise zu einer kritischen Situation führen könnten, als auch die Pupillenerweiterung als Indiz einer konkreten kognitiven Belastung aufgezeichnet. Darüber hinaus werden der Funkverkehr mit den Piloten sowie die gesprochene Kommunikation innerhalb der Lotsendyade durch mehrere unabhängig aufzeichnende Mikrofone erfasst und relevante Parameter wie Tonhöhe, Sprechgeschwindigkeit und weiteren Merkmale mit der Fluglage verglichen. Auch die Gesichtsmuskelaktivität der Lotsen wird im Kontext einer Emotionsbestimmung erfasst und mittels des Facial Action Coding Systems (FACS) analysiert. Dabei werden spezifischen Muskelgruppen des Gesichts sogenannte Action Units zugewiesen, welche in ihrer Kombination mit einer der Basisemotionen korrelieren.

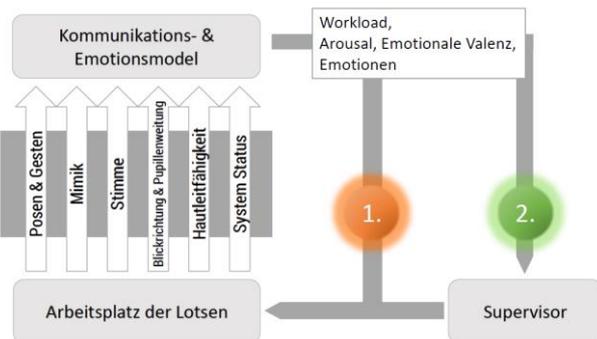


Abb.2: Grafische Darstellung der zu erfassenden Daten, deren Verarbeitung und mögliche Weiterleitung an den Supervisor im Betriebsraum.

Mittels Sensordatenfusion erfolgen ein Abgleich und die Integration der Daten in ein Gesamtbild. In Folge dessen wird nicht nur ein Sensor für eine Parametermessung verwendet und es erfolgt stets eine korrelative Bestätigung. Beispielsweise kann ein Anstieg der Hautleitfähigkeit mit einer Veränderung in der Blickfixationsdauer sowie einer veränderten Sitzposition übereinstimmen, wodurch das System über mehrere valide Indikatoren verfügt, dass die Beanspruchung des Lotsen in dieser Situation angestiegen ist.

Ferner erfolgt ein inhaltlicher Plausibilitätscheck der vom System gelieferten Daten mit den objektiven Flugdaten (Anzahl der Flugzeuge bzw. Flugbewegungen im Sektor) zum jeweiligen Zeitpunkt. Durch diesen Mechanismus wird es dem System ermöglicht, Prognosen dahingehend zu erstellen, ob bzw. wann aufgrund einer ungünstigen Kombination aus Lotsenbefindlichkeit sowie Flugverkehr im entsprechenden Sektor eine kritische Situation eintreten kann, und dies zu signalisieren. Für die Erstellung des Modells zur Berechnung des emotionalen Zustandes und der kognitiven Beanspruchung werden die subjektiven Einschätzungen der Fluglotsen zu Beanspruchungszustand und Bewusstheit über die aktuelle Flugsituation erfasst. Demzufolge finden bei der Modellbildung neben den objektiven Messdaten der Lotsen auch jeweils die Flugsituation sowie die subjektive Einschätzung Beachtung, sodass eine mehrfache Kreuzvalidierung möglich ist, was die Sicherheit einer richtigen Dateninterpretation erhöht.

Bisherige Ergebnisse

Die Analyse der Daten ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Die nachfolgenden Aussagen sind erste Erkenntnisse aus den bis dato vorliegenden Ergebnissen.

Zu Beginn der Untersuchungen wurden Screeningverfahren aus der Konzentrations- und Leistungsdiagnostik angewendet. Dabei zeigte sich, dass bei Fluglotsen eine weit überdurchschnittliche Fähigkeit zur Konzentration und Aufmerksamkeitszuwendung vorliegt. Die dabei eingesetzten Verfahren wie FAIR [12] und d2-R [13] sind grundsätzlich gut geeignet, da sie die korrekte Identifikation relevanter visueller Stimuli unter Zeitdruck erfordern und damit eine typische Anforderung der Lotsenarbeit abbilden. Obwohl jene Tests derart gestaltet und validiert sind, dass sie in der zur Verfügung stehenden Zeit in der Regel unmöglich zu vervollständigen sind, ist dies im Fall von Fluglotsen als Probanden durchaus geschehen. In letzter Konsequenz zeigt dies, dass für eine valide Erfassung der tatsächlichen Fähigkeiten von Fluglotsen das gängige Testinstrumentarium der Psychologie nicht ausreichend ist und neue Ansätze entwickelt werden müssen, da die meisten Leistungstests für die Diagnostik von Menschen aus einer Standardpopulation ausgelegt sind.

In Interviews mit aktiven Fluglotsen zur generellen Charakteristik ihrer Arbeit konnten eine Reihe von für die Untersuchung relevanten Stressoren identifiziert werden. Diese sind

- (1) ein hohes Verkehrsaufkommen, insbesondere bei vielen vertikalen Bewegungen,
- (2) unerwartete Ereignisse, wie Flugzeuge, die ohne Flugplan in den Sektor einfliegen,
- (3) trotz guter Backupsysteme, Ausfälle und Fehler in der Funktionalität des Equipments.
- (4) längere Abwesenheiten oder andere persönliche Faktoren können sich auch negativ auf die empfundene Beanspruchung bzw. Leistungsfähigkeit der Lotsen auswirken.

Auf Basis erster Ergebnisse aus den noch laufenden Auswertungen zeigt sich insbesondere, dass in Bezug auf die Nutzerschnittstellen die Darstellung der Information über die Belastung der Lotsen für die jeweiligen Kollegen von großer Wichtigkeit ist. Dies betrifft zum einen die Information über den Belastungszustand der Lotsen der anderen Sektoren, um eventuell eine zu hohe Verkehrslast räumlich anders zu verteilen, aber auch die Vorhersage über die eigene Situation, da dies Grundlage für Entscheidungen über beispielsweise mögliche „Abkürzungen“ bei der individuellen Flugweggestaltung sein kann. Ferner sind voraussichtlich weitere Adaptionen der Informationsdarstellung in Bezug auf den Zustand des Lotsen notwendig, da nicht jede Information in jeder Situation gleichwertig ist.

Optimal gestaltete Nutzerschnittstellen berücksichtigen die sozialen Gefüge im Einsatzfeld, die bestehenden mentalen Modelle der Nutzer und unterstützen deren Prozeduren. Da die Zusammenarbeit im Lotsenteam essentiell für die Flugsicherung ist, müssen auch die Nutzerschnittstellen der Lotsen diese Kooperation durch eine passende Darstellung unterstützen. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die adäquate Anzeige der Höheninformation zu legen, da diese als die wichtigste Kenngröße für die Lotsenarbeit genannt wurde.

Weitere Ausführungen zu den ersten Ergebnissen zur Arbeitsweise der Fluglotsen und deren Implikationen für das Emotionsmodell und die Nutzerschnittstellen finden sich in [3].

Betrachtet man die Verteilung der Aufmerksamkeitszuwendung im Arbeitsumfeld, sieht man deutlich die hohe Konzentration auf die primären (Radarschirm) und sekundären (Kontrollstreifen) Informationen bezüglich des eigenen Sektors. Bezogen auf zwölf jeweils einstündigen Datenaufzeichnungen in 2015 und 2016 zeigt sich, dass die Aufmerksamkeit in knapp 40% der Zeit auf den Radarschirm und in knapp 26% auf die Kontrollstreifen gerichtet war. Dabei zeigt sich ferner, dass die durch eine Erfassung der Pupillenerweiterung bestimmte kognitive Beanspruchung nur im unteren

Drittel lag und somit genügend mentale Ressourcen für spezifische Herausforderungen verfügbar gewesen wären. Eine systematische Korrelation zwischen bestimmten Handlungen (Funkverkehr mit den Piloten, Betrachten des Radarschirms etc.) und der kognitiven Beanspruchung zeigte sich nicht. Auch in Detailanalysen, etwa der Workload bei unterschiedlichen Arten von Funkverkehr, zeigten sich im Rahmen der bisherigen Analysen keine statistisch bedeutsamen Auffälligkeiten.

Auf Grundlage der Fixationszahlen ist es darüber hinaus möglich, eine Transitionswahrscheinlichkeit im Arbeitsalltag zu berechnen. Dadurch ist es in zukünftigen Iterationen des Nutzerinterfaces möglich, die Wahrscheinlichkeit einer Aufmerksamkeitszuwendung zu berechnen und als Informationsgrundlage für die Anzeige von außergewöhnlichen Systemereignissen zu verwenden. Nach einer Fixation des Radarschirms ist in 18,56% der Fälle eine Fixation der Kontrollstreifen zu erwarten, aber nur zu 1,48% ein Blick zum Sektorkollegen.

Ausblick

Das langfristige Potenzial des Projekts geht deutlich über das spezifische Szenario in der Flugsicherung hinaus. Vielmehr wird damit der Grundstein für die Unterstützung durch Assistenzsysteme gelegt, deren Einsatz in vielen Feldern vorstellbar ist, in denen der Faktor Mensch als Ursache für potenziell verheerende Sicherheitsprobleme infrage kommt, beispielsweise bei Piloten, Lokomotivführern und Sicherheitsmitarbeitern in Kraftwerken. Obwohl es in all diesen Bereichen genau wie in der Flugsicherung detaillierte Vorschriften und Prozeduren gibt um ein Maximum an Sicherheit zu gewährleisten, weist der Faktor Mensch eine hohe Variabilität auf, die nicht in all ihren Eventualitäten erfasst werden kann. Assistenzsysteme können hier unterstützend eingesetzt werden, wenn die technische Realisierung auf ein minimal-invasives Level reduziert wird, sodass die eigentlichen Arbeitsprozesse nicht beeinträchtigt werden. Durch die rasant fortschreitende technische Entwicklung, besonders im Bereich der „wearable devices“ für die Erfassung von biophysiologicalen Daten, sind entsprechende Lösungen für die kommenden Jahre zu erwarten. Der wesentliche Vorteil besteht hierbei darin, dass ein solches System auf objektiven Indikatoren basiert, wohingegen menschliche Urteile bezogen auf den eigenen kognitiven und emotionalen Zustand stets subjektiv sind und damit gerade in anspruchsvollen Momenten verzerrt sein können. Ein Assistenzsystem sollte frei von derartigen Problemen sein, sodass es Fehlentscheidungen verhindern bzw. kritische Situationen vermeiden helfen kann. Natürlich wirft eine

Echtzeiterfassung von Video-, Audio- und Biodaten von Beschäftigten immer auch die Frage nach dem Umgang mit diesen sensiblen Informationen, dem Schutz vor Missbrauch und der generellen Datensicherheit auf. Die damit entstehenden und zu bewältigenden Herausforderungen scheinen jedoch im Vergleich zum Nutzen solcher Systeme als vergleichsweise gering.

Dieser Artikel wurde in abgewandelter Form bereits in [1] veröffentlicht.

Referenzen und Literatur

- [1] Buxbaum, J., Müller, N.H., Ohler, P., Pfeiffer, Rosenthal, P. & Valtin, G. (2016). Emotion-sensitive Automation of Air Traffic Control, *International Transportation* 68(1), 36-39.
- [2] Herr, S., Poppe, M., Reinhardt, K. & Achatz, G. (2015). Erste Validierungsergebnisse der Controller Assistance Tools an der iCAS-SESAR-Plattform. *Innovation im Fokus*, 02/2015, 11-19.
- [3] Pfeiffer, G. Valtin, N. H. Müller, and P. Rosenthal, "Aircraft in Your Head: How Air Traffic Controllers Mentally Organize Air Traffic," in *HUSO 2015 - The First International Conference on Human and Social Analytics*, 2015, 19–24.
- [4] Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38, 193-200.
- [5] Berggren, N., Koster, E. H. W. & Derakshan, N. (2012). The effect of cognitive load in emotional attention and trait anxiety: An eye movement study. *Journal of Cognitive Psychology*, 24(1), 79-91.
- [6] Brookings, J.B., Wilson, G.F. & Swain, C.R. (1996). Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Biological Psychology*, 42(3), 361-377.
- [7] Galy, E., Cariou, M. & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load

- types? *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269-275.
- [8] Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: Implications for affective computing. In *Proceedings of the 24th International FLAIRS Conference*, 105-110.
- [9] Mueller, S.C. (2011). The influence of emotion on cognitive control: Relevance for development and adolescent psychopathology. *Frontiers in Psychology*, 2(327), 1-21.
- [10] Siegrist, J. (2006). Stress am Arbeitsplatz. In R. Schwarzer (Hrsg.), *Gesundheitspsychologie* (S. 303-318). Göttingen: Hogrefe.
- [11] EUROCONTROL (2016). 2015 Comparison of Air Traffic Management-Related Operational Performance: U.S.A. and Europe, URL: <http://www.eurocontrol.int/publications/2015-comparison-air-traffic-management-related-operational-performance-usa-and-europe>.
- [12] Moosbrugger, H., Oehlschlägel, J. (1996). *Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar (FAIR)*. Huber, Bern.
- [13] Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L., Liepmann, D. (2010). *d2-R: Test d2 - Revision*. Hogrefe, Göttingen.

Ein Konzeptelement zur Herstellung der Boden/Boden-Kommunikation zwischen Lotsen konventioneller und sektorloser Lufträume

Carmo S. Klünker (TU Berlin)

Einleitung

In der konventionellen Flugverkehrskontrolle wird der kontrollierte Luftraum weltweit in Sektoren eingeteilt. Ein Sektor repräsentiert dabei den Zuständigkeitsbereich, für den in Normalkonfiguration ein Team aus Radar- und Planungslotse die Verantwortung übernimmt. Sie sind verantwortlich für die Abwicklung des gesamten Verkehrs innerhalb des ihnen zugewiesenen Sektors.

Um auf Schwankungen der Verkehrsmenge zu reagieren, werden heute einzelne (Basis-)Sektoren zusammengelegt oder, falls zuvor zusammengelegt, geteilt.

Dieser Ansatz stößt jedoch an seine natürlichen Grenzen. Eine Zusammenlegung von Sektoren ist nur endlich möglich, da Lotsen nur in einer bestimmten Teilmenge der Sektoren einsetzbar sind. Gleiches gilt für eine Teilung. Je kleiner ein Sektor, desto schwieriger wird es für den Lotsen Konfliktlösungen zu finden, die nicht mit angrenzenden Flugsicherungsstellen koordiniert werden müssen.

Ein Konzept, das dieser Problematik entgegenwirken will, ist das sektorlose Air Traffic Management, kurz S-ATM. Hierbei wird der Luftraum als großes Ganzes betrachtet. Innerhalb des sektorlosen Luftraums (SL-Luftraum) sind mehrere Lotsen für die Staffelung der Luftfahrzeuge (LFZ) verantwortlich. Die Lotsen kontrollieren die LFZ vom Eintritt in bis zum Austritt aus dem SL-Luftraum.

Jedem SL-Lotsen könnte grundsätzlich gemäß unterschiedlicher Kriterien oder Verteilmechanismen die Kontrolle eines im SL-Luftraum fliegenden LFZ übertragen werden. Für den Prozess der Zuordnung von LFZ zu Lotsen im SL-Luftraum hat sich der Begriff „Assignment“ etabliert. Das Assignment selbst kann grundsätzlich sowohl durch ein automatisch arbeitendes System als auch durch Operateure durchgeführt werden.

Derzeitig ist die DFS der einzige Flugsicherungsdienstleister (ANSP), der ein Implementierungsprojekt zur Einführung des S-ATM-Konzepts verfolgt. Andere ANSP beabsichtigen momentan keine Implementierung, weshalb die konventionelle und die S-ATM-Arbeitsweise zwangsläufig parallel etabliert sein werden.

Es entsteht eine Schnittstelle, die unter anderem eine Herausforderung in der Boden/Boden-Kommunikation (B/B-Kommunikation) mit sich bringt.

LFZ werden sich, entlang ihrer geplanten Flugrouten, zwischen konventionellen und SL-Lufträumen bewegen. Aufgrund der Dynamik im Luftverkehr wird es gelegentlich zu Abweichungen von den Routen kommen. Diese Änderungen müssen zwischen den betreffenden Fluglotsen koordiniert werden.

Aufgrund der Sektorisierung ist es eindeutig, wer im Falle einer Koordination kontaktiert werden muss. An der eben beschriebenen Schnittstelle entfällt diese Eindeutigkeit, da im SL-Luftraum mehrere Lotsen für

Sektorloser Luftraum														
FL375														
TGO2	SLN2	NTM3	FFM3	WUR3	FUL2	ERL2 FL365	SAL2 FL365	SPE2 FL365	HVL2 FL365	OSE2 FL365	ISA2	DON2	CHI2	ALP2
FL345	FL355	FL355	FL355	FL355	FL345	ERL1	SAL1	SPE1	HVL1	OSE1	FL355	FL355	FL355	FL355
TGO1	SLN1	NTM2	FFM2	WUR2	FUL1	FL315	FL315	FL315	FL315	FL315	ISA1	DON1	CHI1	ALP1
FL245	FL245	FL245	FL315	FL315	FL245				FL285	FL285	FL315	FL315	FL315	FL315
		NTM1	FFM1	WUR1										

Abb. 1: Vertikale angrenzende Sektoren an den SL-Luftraum

die Kontrolle und Koordination der einzelnen LFZ verantwortlich sind.

In diesem Artikel werden, nach einer Strukturanalyse des SL-Luftraums, verschiedene Varianten eines Konzeptelements zur Herstellung der verbalen B/B-Kommunikation zwischen sektorlosen Lotsen (SL-Lotse) und Planungsloten vorgestellt. In weiteren Abschnitten werden die jeweiligen Vor- und Nachteile der Alternativen diskutiert und bewertet. Danach werden die Ergebnisse vorgestellt und abschließend ein Ausblick für zukünftige Untersuchungen gegeben.

Analyse des sektorlosen Luftraums

Das Implementierungsprojekt der DFS sieht vor, den SL-Luftraum im Zuständigkeitsbereich von Karlsruhe UAC oberhalb FL375 einzuführen. Aufgrund der zentralen Lage des SL-Luftraums in Europa, werden eine Vielzahl von Sektoren an diesen Luftraum angrenzen.

Unterhalb des SL-Luftraums werden die 15 Sektoren im Zuständigkeitsbereich von Karlsruhe UAC unterhalb FL375 liegen, dessen vertikale Ausbreitungen in Abbildung 1 dargestellt sind. Die abgebildeten Unterteilungen der Sektoren können je nach Verkehrsaufkommen aufgehoben werden.

Lateral grenzen an den SL-Luftraum 24 Sektoren. Welche Sektoren das im Einzelnen sind, kann der Abbildung 2 entnommen werden.

Insgesamt umgeben den SL-Luftraum also 39 Sektoren, welche von zehn unterschiedlichen ACCs aus kontrolliert werden.

Das bedeutet, dass der SL-Lotse mit insgesamt 39 Planungsloten koordinieren muss und umgekehrt.

Rahmenbedingungen des zu entwickelnden Konzeptelements

Für die Entwicklung des Konzeptelements wurden in einem ersten Schritt bestimmte Bedingungen gestellt und Zustände als gegeben definiert. Dadurch wird eine Umgebung geschaffen, in der S-ATM möglich ist, und die Rahmenbedingungen festgelegt.

Zuerst sei erwähnt, dass sich bei der Erarbeitung vorrangig auf den Normalbetrieb der ATS-Einrichtungen fokussiert wird. Ausfälle der Technik, Störungen bei Systemen oder besondere Situationen/Notsituationen werden hier nicht weiter betrachtet.

Des Weiteren sind dem Konzeptelement gewisse Randbedingungen von außen gesetzt, da von einer Implementierung des Konzeptelements bis ca. 2025 ausgegangen wird. Demzufolge soll das Konzeptelement mit dem heutigen Stand der Technik und möglichst unter Vermeidung von Anpassungen der technischen Infrastruktur am LFZ sowie ohne

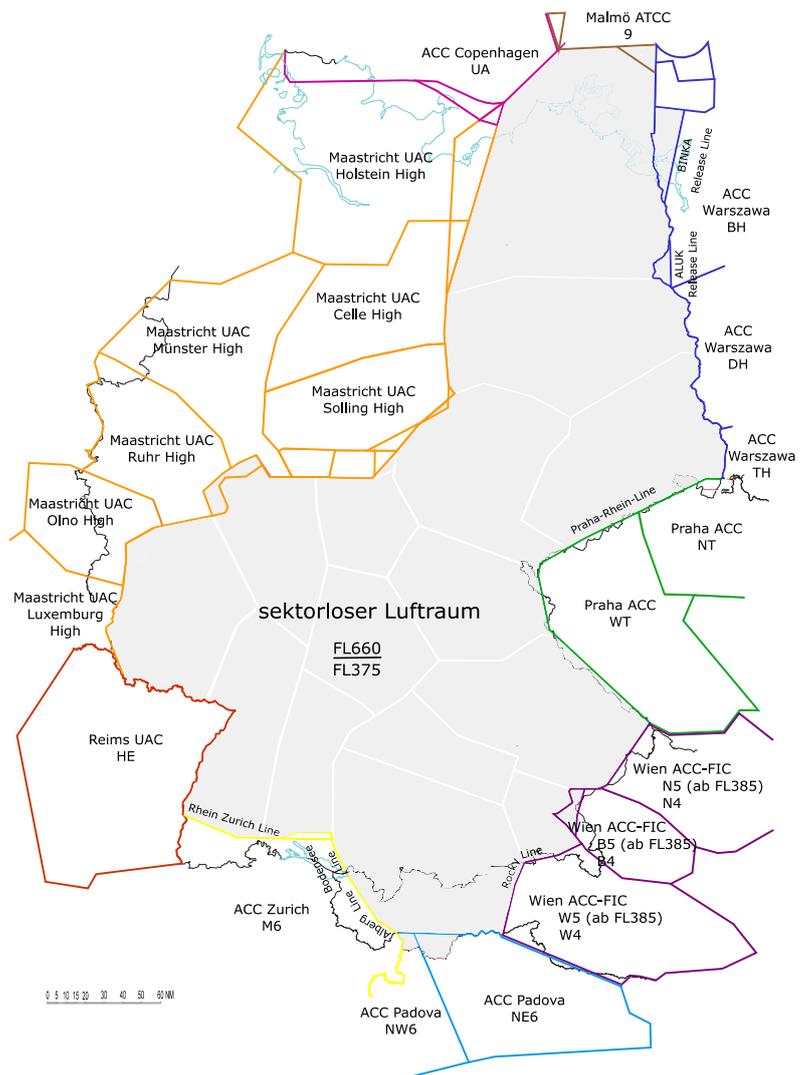


Abb. 2: Lateral an den SL-Luftraum grenzende Sektoren

Änderungen am ATS-System angrenzender ANSP umsetzbar sein. Grundsätzlich sollen die etablierten Koordinationsverfahren (Letter of Agreement, LoA) mit den angrenzenden ATSUs bestehen bleiben, allerdings wird eine Anpassung der bestehenden LoAs notwendig sein.

Neben den Einschränkungen von außen, kommen gewisse Anforderungen hinzu, die ein Konzept wie S-ATM überhaupt erst ermöglichen.

Ab dem 5. Dez 2019 wird der durch Karlsruhe UAC kontrollierte Luftraum ein Free Route Airspace (FRA) sein [1]. Bei der Entwicklung des Konzeptelementes wird diese Tatsache berücksichtigt und der SL-Luftraum als FRA betrachtet. Allerdings soll er nicht in vier einzelne FRA-Zellen¹ unterteilt sein, sondern als ein unabhängiger FRA angenommen werden. Neben dem Free Route Airspace muss auch eine Ein-Frequenz-Lösung auf Basis konventionellen Sprechfunks eingeführt sein. Das bedeutet, dass jeder im (sehr weiträumigen) SL-Luftraum arbeitende Lotse eine ihm fest zugeordnete Frequenz besitzt.

Eine weitere Anforderung, die an das System gestellt wird, ist, dass die Zuweisung LFZ zu Lotse (Assignment) bereits geschehen und diese Information den DFS-Lotsen bekannt ist. Es wird ebenfalls davon ausgegangen, dass die SL-Lotsen und die Lotsenteams der darunterliegenden Karlsruher Sektoren dasselbe ATS-System verwenden. Dadurch wird sichergestellt, dass allen DFS-Lotsen die gleichen flugsicherungsrelevanten Informationen zur Verfügung stehen. In Anlehnung an das Forschungsprojekt TeFiS wird davon ausgegangen, dass für den Betrieb des SL-Luftraums sechs Lotsenarbeitsplätze benötigt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen wurden sechs Konzeptelemente entwickelt, die die zur B/B-Kommunikation benötigte Telefonverbindung möglichst schnell und verzögerungsfrei aufbauen.

Fallunterscheidung

LFZ können entlang ihrer geplanten Flugrouten sowohl lateral als auch vertikal in den SL-Luftraum ein- und ausfliegen.

LFZ, die vertikal in den SL-Luftraum ein- oder ausfliegen, werden von den konventionell arbeitenden Fluglotsen der DFS-Niederlassung Karlsruhe an die SL-Lotsen übergeben und umgekehrt. Entsprechend der Rahmenbedingungen verwenden diese Fluglotsen dasselbe ATS-System und ihnen stehen die gleichen flugsicherungsrelevanten Informationen zur Verfügung. Den Fluglotsen ist folglich stets bekannt, wer die Staffelungsverantwortung trägt bzw. nachfolgend tragen wird. Lediglich die zusätzlichen Telefonnummern müssen für die Lotsen hinterlegt werden und

leicht zugänglich sein. Für die Karlsruher Lotsen kommen insgesamt sechs neue Rufnummern hinzu, sofern keine weiteren SL-Lotsen benötigt werden. Der SL-Lotse benötigt Zugang zu 15 Rufnummern (vertikale Sektoren). Den SL-Lotsen müssen ebenfalls die Luftraumgrenzen der vertikal angrenzenden Sektoren bekannt sein, damit sie LFZ vor dem Passieren der nachfolgenden Luftraumgrenze in den SL-Luftraum aufnehmen bzw. abgeben.

Beim lateralen Ausflug weiß der SL-Lotse ebenfalls wer anschließend die Kontrolle über das LFZ übernehmen wird. Die Schwierigkeit besteht in der Vielzahl der zu kontaktierenden Planungslotsen, da sich der Zuständigkeitsbereich des SL-Lotsen erheblich vergrößert (24 Koordinationspartner lateral).

Im letzten Fall, dem lateralen Einflug, tritt die bereits in der Einleitung erwähnte Herausforderung der Eindeutigkeit auf. Fliegt ein LFZ vom konventionellen Luftraum in den SL-Luftraum, weiß der Planungslotse des abgebenden Sektors nicht, wer die Staffelungsverantwortung übernehmen wird.

Die Problematik ist analog bei Release-Anfragen, bei denen der annehmende Lotse den übergebenden Lotsen kontaktieren will.

Somit ist der laterale Einflug am komplexesten und steht bei der Erarbeitung der Varianten des Konzeptelementes im Fokus.

Die Varianten des Konzeptelementes

Eingangs sei erwähnt, dass die Hauptaufgaben der SL-Lotsen und der Planungslotsen bei allen Konzeptelementen wie folgt definiert sind:

- Die Planungslotsen arbeiten nach dem Prinzip der konventionellen Flugverkehrskontrolle. Sie übernehmen sämtliche Planungs- und Koordinationsaufgaben mit den angrenzenden Kontrollstellen. Er ist demnach derjenige, der die Lotsen im SL-Luftraum kontaktieren muss.
- Der SL-Lotse hat eine andere Arbeitsweise. Er ist für die Staffelung und Koordination der ihm zugewiesenen LFZ innerhalb des SL-Luftraums verantwortlich. Ob er die Koordinationsverhandlungen mit den angrenzenden Sektoren durchführt, hängt von der angewendeten Variante des Konzeptelementes ab (siehe nächster Absatz).

¹ FRA-Zelle: Ein FRA innerhalb einer Flugverkehrsdienststelle oder einer FIR/UIR kann lateral und/oder vertikal in „FRA-Zellen“ unterteilt werden, die aus mehreren Sektoren oder einer oder mehreren

Sektorgruppen bestehen. Jede FRA-Zelle stellt einen unabhängigen FRA dar [1].

Bei der Erarbeitung der Varianten wurden generell zwei Ansätze verfolgt. Der erste Ansatz basiert auf einer manuellen Vermittlung, wie sie aus der Telekommunikation bekannt ist. Beim zweiten Ansatz werden die Aufgaben Koordination und Kontrolle über das LFZ von zwei unterschiedlichen Personen übernommen. Insgesamt wurden sechs Varianten des Konzeptelements ausgearbeitet, welche an dieser Stelle vorgestellt werden.

1. Inbound Call Center

Die erste Idee stammt aus dem Kundendienst. Die Einführung eines sogenannten Call Centers mit einem S-ATM-Telefonisten könnte die benötigte Telefonverbindung herstellen. Die Hauptaufgabe des S-ATM-Telefonisten besteht darin, die eingehenden Anrufe der angrenzenden Sektoren entgegenzunehmen und diese an die stufungsverantwortlichen SL-Lotsen weiterzuleiten. Damit er diese Aufgabe ausführen kann, ist es zwingend notwendig, dass ihm am Arbeitsplatz die Zuordnung Lotse zu LFZ angezeigt wird. Vorrangig wird der Telefonist Anrufe bearbeiten, die den Inbound-Verkehr betreffen (abgesehen von Release-Anfragen der angrenzenden Sektoren). Den SL-Lotsen ist bekannt, wen sie kontaktieren wollen; sie können daher direkt Kontakt zu den Planungslotsen aufnehmen.

2. Spracherkennung

Hierbei wird der S-ATM-Telefonist durch einen Spracherkennungscomputer ersetzt. Dieser wird beim Eingang eines Anrufs mithilfe einer automatischen Abfrage die Kennung des betreffenden LFZ ermitteln. Anschließend findet ein Abgleich mit dem Assignment statt. Hat der Spracherkennungscomputer herausgefunden, welchem Lotsen das LFZ zugewiesen ist, wird der externe Planungslotse automatisch zum verantwortlichen SL-Lotsen durchgestellt.

3. Vermittlung

Dieser Lösungsansatz überträgt die Vermittlungsaufgabe an den SL-Lotsen und lässt ihm somit eine Doppelfunktion zukommen. Die Planungslotsen kontaktieren bei Koordinationsanfragen stets denselben SL-Lotsen, der sie dann mit dem verantwortlichen Lotsen verbindet. Dem Lotsen kann das Assignment hierbei z. B. über die LFZ-Labels oder einen separaten Bildschirm angezeigt werden. In den Fällen, in denen der kontaktierte Lotse der gewünschte

Ansprechpartner ist, kommt es zu keinen weiteren Verzögerungen bei der Koordination.

4. Grenzkoordinator

Um die Verzögerung, die durch die Vermittlung entsteht, zu vermeiden, kann der SL-Lotse auch direkt mit den Planungslotsen koordinieren. Das bedeutet, dass der SL-Lotse neben seiner Hauptaufgabe noch die Upstream-Koordination an einer ihm zugewiesenen Luftraumgrenze übernimmt. Koordinationsergebnisse müsste er im Anschluss selbstverständlich weiterleiten.

5. Koordination und Übernahme

Anstatt Verhandlungsergebnisse weiterzugeben, soll der SL-Lotse nun selbst die Stafflungsverantwortung für die LFZ übernehmen, für die er Entscheidungen trifft. Das heißt, dass die Zuweisung der LFZ geographisch erfolgt und der Inbound-Luftverkehr für die SL-Lotsen stets aus einer Region kommt. Sollten Anfragen bezüglich der Downstream-Koordination bei ihm eingehen, wird er sich entweder via „elbow coordination“ mit dem verantwortlichen SL-Lotsen abstimmen oder die Kontrolle über das LFZ über ein „Special Get“² übernehmen.

6. Koordinationsstelle

Dieser Ansatz beruht auf den vorhandenen Publikationen zum S-ATM-Konzept von [2] und [3]. Hierbei wird die Aufgabe den einfliegenden Luftverkehr zu koordinieren einer Koordinationsstelle zugewiesen. Von dieser Stelle werden die nötigen Koordinationsverhandlungen mit den angrenzenden Sektoren geführt. Außerdem wird der S-ATM-Koordinator, dessen Arbeitsplatz durch die zentrale Koordinationsstelle repräsentiert wird, Estimates für Flüge entgegennehmen und prüfen sowie Änderungen der Flugplandaten in das System eingeben. Der S-ATM-Koordinator muss, für evtl. Rücksprachen und zur Weiterleitung der Koordinationsergebnisse, die Zuordnung LFZ zu Lotse kennen.

Dialogische und intuitive Bewertung der Varianten

Damit eine Alternative ausgewählt wird, welche die Herausforderung im Vergleich optimal löst, wurden die Konzeptelemente, unter Einbeziehung eines Expertenteams aus operativem Personal der DFS, bewertet. Das befragte Expertenteam setzte sich aus

² Bei den TeFiS-Simulationen konnten die SL-Lotsen via Special Send/Get die Kontrollverantwortung für ein LFZ an einen SL-Lotsen abgeben oder von diesem übernehmen.

Personen zusammen, die zum Zeitpunkt der Befragung regelmäßig mit dem S-ATM-Konzept in Berührung waren, da sie aktiv am TeFiS-Forschungsprojekt teilnahmen oder sich mit der Implementierung von S-ATM beschäftigten.

Da die Lösungsansätze breit gefächert sind, wurde zunächst eine Bewertungsdiskussion durchgeführt, bei der die Experten die Konzeptelemente auf Basis ihrer Erfahrungen analysierten. Das Gruppeninterview war schwach strukturiert, um die Befragten nicht einzuschränken und vorzugsweise viele Gedanken, Anregungen, Informationen zur Weiterentwicklung und Bedenken bezüglich der verschiedenen Konzeptelemente herauszuarbeiten. Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten wurden gegeneinander abgewogen und es zeichneten sich grobe Tendenzen für die Bevorzugung einer Variante gegenüber anderen ab. Nachstehend sind die wichtigsten Kernaussagen der Diskussion aufgelistet:

- S-ATM-Telefonist und Spracherkennungscomputer müssen LFZ den SL-Lotsen zuweisen können, damit Anfragen stets bearbeitet werden können, auch wenn das System noch keine Zuweisung vorgenommen hat.
- „Spracherkennung“ könnte als Fallback-System des „Inbound Call Center“ fungieren, falls die Anrufergänge beim S-ATM-Telefonisten ansteigen.
- Fehlerhafte Bedienungen des Systems, z. B. durch den S-ATM-Telefonisten, müssen abgefangen werden.
- Bei der „Vermittlung“ sollte der SL-Lotse die Möglichkeit haben, in Situationen hoher Belastung seine Vermittlungsfunktion, z. B. durch eine Rufumleitung, abzugeben.
- Das HMI beim „Grenzkoordinator“ muss es ermöglichen, den Grenzbereich, den der SL-Lotse koordiniert, als dauerhafte Anzeige darzustellen.
- Bei „Koordination und Übernahme“ hängt die Arbeitsbelastung von den eingehenden Anrufen bezüglich der Upstream-Koordination ab, wodurch die Kontrolle über die Verteilung der Arbeitsbelastung komplett verloren geht.
- Wird eine Koordination unterbrochen, z. B. wegen Rücksprachen mit anderen SL-Lotsen, sollte eine Hold-Funktion, Konferenzschaltung oder eine „Last-Call-Liste“ implementiert sein, um die Verbindung aufrecht zu erhalten oder schnellstmöglich wiederherzustellen.
- Der Informationsfluss muss stets aufrechterhalten werden. Bei Übergaben dürfen Informationen wie Landebahnpräferenzen, geforderte Rückrufe,

Informationen, die den Zustand eines LFZ betreffen, nicht verloren gehen.

- Die Assignment-Strategie und verbale B/B-Kommunikation sind eng miteinander verknüpft. Eine an das Konzeptelement angepasste Assignment-Strategie kann das Potenzial der Variante erhöhen.

Im Anschluss an die Bewertungsdiskussion wurden die Befragten individuell gebeten, die einzelnen Varianten in eine Rangfolge zu bringen. Der erste Rang markierte dabei die favorisierte Variante. Aus der Diskussion ging hervor, dass Assignment und B/B-Kommunikation eng aneinandergekoppelt sind. Daher basiert das Ranking auf einem geographischen Assignment, d. h. LFZ werden entsprechend ihres Einflugpunktes den SL-Lotsen zugeteilt. Diese Assignment-Strategie wurde gewählt, da sie im Implementierungsprojekt näher betrachtet wird und die Experten daher mit dieser Strategie vertraut sind. Das Ranking ist eine rein subjektive Beurteilung. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 abgebildet.

Tabelle 1: *Ranking der Varianten des Konzeptelements*

		Ranking				
		Befragter 1	Befragter 2	Befragter 3	Befragter 4	Rangsumme
Varianten	Inbound Call Center	4	2	2	3	11
	Spracherkennung	2	1	6	2	11
	Vermittlung	1	3	1	1	6
	Grenzkoordinator	6	6	3	4	19
	Koordination und Übernahme	3	5	4	5	17
	Koordinationsstelle	5	4	5	6	20

Formalisierte Bewertung der Varianten

Aus den Rahmenbedingungen und der Bewertungsdiskussion lassen sich gewisse Kriterien ableiten, anhand derer sich die Tendenzen für die jeweiligen Varianten festmachen lassen. Diese Kriterien spiegeln die Anforderungen an das Konzeptelement wider.

Die Experten haben stets folgende Kriterien für jedes Konzeptelement diskutiert:

1. **Umsetzbarkeit:** Technischer Aufwand, der zur Umsetzung nötig ist und zu erwartender Aufwand für Schulung, Sicherheitsbewertung etc.
2. **Aufwände der ANSP:** Mehraufwand, der durch das Konzeptelement für die betroffenen ANSP der konventionellen Lufträume entsteht.
3. **Arbeitsbelastung:** Möglichkeit, die Arbeitsbelastung gleichmäßig auf die SL-Lotsen zu verteilen.
4. **Entscheidungskompetenz:** Die Person, welche die Koordinationsentscheidungen trifft, hat das notwendige Situationsbewusstsein und Zugriff auf Tools, um eine qualifizierte Konfliktanalyse durchzuführen.
5. **Koordinationsgeschwindigkeit:** Benötigte Zeit, um die Koordinationspartner zu verbinden. Nicht mit dem Erstkontakt zum SL-Luftraum zu verwechseln.
6. **Kapazitätsbezogene Skalierbarkeit:** Möglichkeit, flexibel auf den Koordinationsbedarf zu reagieren, aufgrund von hinreichenden Kapazitäten bei den Lotsen und Personen, die Entscheidungsträger oder Teilnehmer am Koordinationsprozess sind.
7. **Personalbedarf:** Werden neben den sechs SL-Lotsen noch weitere Arbeitspositionen bzw. Rollen besetzt?

Inwieweit die Varianten diese Kriterien erfüllen, kann mithilfe der Nutzwertanalyse gezeigt werden. Diese Beurteilung läuft wesentlich strukturierter ab, als die Bewertungsdiskussion, da das Verfahren mehrere definierte Arbeitsschritte enthält, die in einer bestimmten Reihenfolge zu absolvieren sind. Das Ergebnis ist ein konkreter Punktwert anhand dessen sich die Varianten vergleichen lassen.

Nachdem die Bewertungskriterien definiert sind, haben die Experten sie mithilfe eines Paarvergleichs gewichtet. Anschließend wurden die in Tabelle 2 abgebildeten kriterienspezifischen Gewichtungswerte ermittelt. Sie geben an, mit welchem Gewicht das

jeweilige Bewertungskriterium in das Endergebnis einfließt.

Tabelle 2: Gewichtung der Bewertungskriterien

Kriterium	Gewichtungswert
Umsetzbarkeit	0.09
Aufwände der ANSP	0.14
Arbeitsbelastung	0.24
Entscheidungskompetenz	0.29
Koordinationsgeschwindigkeit	0.19
Kapazitätsbezogene Skalierbarkeit	0.05
Personalbedarf	0.00

Damit im nächsten Schritt die Varianten im Hinblick auf die Erfüllung dieser Bewertungskriterien beurteilt werden können, wurden die in Abbildung 3 abgebildeten Bewertungsskalen festgelegt.

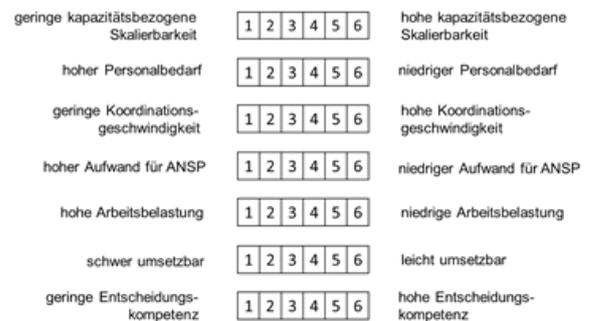


Abb. 3: Bewertungsskalen

Die Bewertungsskalen reichen von eins bis sechs. Bei der Festlegung ist zu beachten, dass die Skalen mit den Zielsetzungen zusammenpassen und erstrebenswertes stets mit einer hohen Punktzahl bewertet wird. Das Ergebnis der Bewertung auf Kriterienerfüllung ist in Tabelle 3 zu sehen. Eine hohe Rangsumme in dieser Tabelle bedeutet nicht, dass die Variante zu bevorzugen wäre. Erst durch die Multiplikation mit dem zuvor beschriebenen Gewichtungsfaktor (siehe Tabelle 2) entstehen Gesamtwerte, aus denen sich ein Ergebnis ableiten lässt.

Tabelle 3: Bewertung der Varianten hinsichtlich der Kriterienenerfüllung

		Kriterium							Rangsumme
		kapazitätsbezogene Skalierbarkeit	Personalbedarf	Koordinationsgeschwindigkeit	Aufwände der ANSP	Arbeitsbelastung	Umsetzbarkeit	Entscheidungskompetenz	
Alternativen	Inbound Call Center	1	1	2	5	6	4	6	25
	Spracherkennung	6	6	4	4	6	3	6	35
	Vermittlung	4	4	2	5	2	6	6	29
	Grenzkordinator	4	4	2	5	1	2	1	19
	Koordination und Übernahme	5	6	3	5	1	5	6	31
	Koordinationsstelle	1	1	1	5	6	1	1	16

In einem letzten Schritt wird dazu die Gesamtpunktzahl für jede Variante berechnet. Dafür muss zuerst für jede Variante und jedes Kriterium der Erfüllungsgrad mit dem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert werden. Danach müssen die berechneten Zwischenwerte für jede Variante aufsummiert werden. Folglich lässt sich die Gesamtpunktzahl mit einer Matrixmultiplikation berechnen. Aus dem erhaltenden Ergebnisvektor kann abschließend eine Rangfolge der Varianten abgeleitet werden. Das Bewertungsergebnis ist in Tabelle 4 abgebildet.

Tabelle 4: Ergebnis der Nutzwertanalyse

Variante	gewichtete Gesamtpunktzahl	Ranking
Inbound Call Center	4,67	2
Spracherkennung	5,07	1
Vermittlung	4,04	3
Grenzkordinator	1,99	6
Koordination und Übernahme	3,95	4
Koordinationsstelle	2,76	5

Ergebnisse

Die erste festzuhaltende Erkenntnis der Bewertungsdiskussion ist die enge Verbindung, die zwischen der Herstellung der verbalen B/B-Kommunikation und dem Assignment besteht. Die zugrundeliegende Assignment-Strategie ist ausschlaggebend für das Potenzial der einzelnen Varianten, da sie gewisse Nachteile des Konzeptelements aufwerten kann. Es ist fast unmöglich, diese beiden Komponenten isoliert zu betrachten, weshalb die Befragten bei ihrer intuitiven Bewertung von einem geographisch orientierten Assignment ausgegangen sind. Es gibt natürlich noch andere Ansatzmöglichkeiten für ein Assignment z. B. Flugflächen, Verkehrsströme, Konflikte oder gleichmäßige Anzahl an LFZ. Die gewählte Assignment-Strategie sollte stets eine Balance zwischen Überflügen sowie Steig- und Sinkflügen gewährleisten,

da die Vertikalbewegungen wesentlich zur Arbeitsbelastung der Fluglotsen beitragen.

Bei der Bewertungsdiskussion zeichnete sich schnell ab, dass Konzeptelemente, die Koordination und Staffellungsverantwortung trennen, nicht zu den bevorzugten Varianten gehörten. Bei einer Trennung dieser Aufgaben haben die beteiligten Personen eine unterschiedliche Wahrnehmung der Verkehrssituation. Dieses unterschiedliche Situationsbewusstsein könnte zu zeitaufwendigen Rücksprachen zwischen den Parteien führen. Auch das Finden von LFZ in einem Luftraum mit großem lateralen Ausmaß wird eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen. Hinzu kommt, dass nur der staffellungsverantwortliche Lotse in der Lage ist, eine angemessene Konfliktanalyse durchzuführen, da nur ihm die nötigen Konflikttools zur Verfügung stehen (aktuelles ATS-System). Auch die Arbeitsbelastung der SL-Lotsen ist bedeutend für die Bewertung. Ausgeführte Doppelfunktionen wirken sich negativ aus. Aufgrund dieser Argumente sind die Varianten „Koordinationsstelle“, „Grenzkordinator“ und „Koordination und Übernahme“ nicht favorisiert worden.

Beim Konzeptelement „Vermittlung“ führt der SL-Lotse ebenfalls eine Doppelfunktion aus, dennoch hat es bei der Einzelbewertung am besten abgeschnitten. Grund ist die zuvor erwähnte enge Kopplung zwischen Assignment-Strategie und B/B-Kommunikation. Bei diesem Konzeptelement kann das Assignment die Notwendigkeit einer Vermittlung minimieren. Es kommt vermehrt zu bilateralen Koordinationsverhandlungen und die Koordinationsgeschwindigkeit wird erhöht. Da bei der formalisierten Methode das Assignment in den Hintergrund gerückt ist, schnitt die Variante dabei etwas schlechter ab.

Auch positiv bewertet wurden die Varianten „Inbound Call Center“ und „Spracherkennung“. Der Vorteil dieser Varianten liegt darin, dass sie flexibel mit jeglichem Assignment zu gestalten sind. Die zu adressierende Herausforderung bei diesen Alternativen ist die potentielle Überlastung der Telefonleitung, da Anrufe von 24 Sektoren an der zusätzlich geschaffenen Position eingehen. Dadurch kann in Zeiten hohen Koordinationsbedarfs ein Engpass entstehen. Ein Spracherkennungscomputer wäre in solch einem Fall einfacher zu skalieren. Engpässe können auch durch Übergaben via „Special Send/Get“ entstehen, da laufende Koordinationen stets an den übernehmenden Lotsen weitergegeben werden müssen. Bei Varianten, wo Engpässe auftreten können, ist es notwendig dringliche Anrufe/Anfragen zu priorisieren (Prio-Taste). Auch Expedite Clearances und Notfälle erfordern diese Priorität.

Zu der Variante „Spracherkennung“ sei noch erwähnt, dass aufgrund der Verwendung von standardisierten Sprechgruppen in der Luftfahrt, die Zuverlässigkeit der Spracherkennung gesteigert werden kann. Dennoch könnten die in Europa vertretenden verschiedenen Akzente dazu führen, dass Abfragen mehrfach stattfinden müssen und somit die Koordinationsgeschwindigkeit herabsetzen. Die Spracherkennung erfordert noch weitere Fortschritte, damit sie sicher in der Luftfahrt eingesetzt werden kann.

Ein weiterer nennenswerter Punkt ist, dass der S-ATM-Telefonist und auch der Spracherkennungscomputer die Möglichkeit haben müssen, LFZ zuzuweisen. Dadurch wird gewährleistet, dass Anfragen von Planungslotsen stets bearbeitet werden können, auch wenn noch keine Zuweisung durch das System stattgefunden hat.

Zusammenfassung und Ausblick

Lotsen unterschiedlicher Lufträume/Sektoren brauchen eine möglichst verzögerungsfreie Telefonverbindung zwischen ihnen, damit sie die nötigen Koordinationsverhandlungen durchführen können. Folglich ist das Teilkonzept zum Aufbau der verbalen B/B-Kommunikation bedeutender Bestandteil eines S-ATM-Konzepts und nimmt eine wichtige Rolle bei dessen Implementierung ein.

Insgesamt wurden sechs Konzeptelemente entwickelt, die die geforderte Telefonverbindung herstellen. Konzeptelemente die Koordination und Staffungsverantwortung trennen, sollten in zukünftigen Untersuchungen nicht weiterverfolgt werden. Grund ist das unterschiedliche Situationsbewusstsein zwischen der Person die koordiniert und dem staffelungsverantwortlichen SL-Lotsen.

Hingegen konnten Konzeptelemente, die eine manuelle Vermittlung fokussieren, überzeugen. Diese Varianten haben das Potenzial, während einer Transitionsphase, bei der sowohl konventionelle Sektoren als auch SL-Lufträume existieren, die verbale B/B-Kommunikation zwischen den Lotsen (Planungslotse und SL-Lotse) herzustellen. Das favorisierte Konzeptelement basiert auf der Idee, den Planungslotsen Telefonnummern zuzuweisen, die sie stets mit einem der SL-Lotsen verbindet. Letzterer ist dann verpflichtet den Anrufer an den zuständigen SL-Lotsen weiterzuleiten.

Wie oft Vermittlungsanrufe bei den sektorlosen Lotsen eingehen würden und inwieweit sich die Doppelfunktion auf die Arbeitsbelastung sowie die Anzahl der kontrollierbaren LFZ auswirkt, bleibt zu untersuchen. Echtzeitsimulationen werden die Weiterentwicklung in diesem Punkt ergänzen müssen.

Des Weiteren ergab sich, dass vor allem die Komponenten verbale B/B-Kommunikation, Assignment-Strategie und Übergabe der Folgefrequenz an den Piloten eng aneinandergeliegt sind. Zukünftig sollten diese drei Komponenten parallel betrachtet werden. Eine auf das Konzeptelement abgestimmte Assignment-Strategie kann dazu führen, dass es überwiegend zu bilateralen Koordinationsverhandlungen kommt und die Eindeutigkeit für die Folgefrequenz wiederherstellen. Analysen des Verkehrsaufkommens an der Luftraumgrenze sowie Echtzeitsimulationen werden zeigen, ob das bevorzugte geographische Assignment umsetzbar ist.

Außerdem sollten weiterführende Entwicklungsarbeiten ihren Fokus auf abnormale Situationen richten, denn wie der Ablauf bei Ausfällen der Technik, Störungen bei Systemen oder bei Notsituationen aussieht, wurde bis dato nicht im Detail betrachtet.

Dieser Artikel basiert auf einer von der Autorin bei der DFS durchgeführten Bachelor-Arbeit. Die Betreuung erfolgte durch Oliver Haß, OP/SR.

Referenzen

- [1] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2017): Betriebliche Einführung von Lufträumen mit freier Streckenführung (Free Route Airspace (FRA)) im Bereich Karlsruhe UAC, Bremen ACC und München ACC oberhalb von FL 245. Online unter: [https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Services/Customers/FreeRouteAirspace\(FRA\)/ED_Circ_2017_09_en.pdf](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Services/Customers/FreeRouteAirspace(FRA)/ED_Circ_2017_09_en.pdf)
- [2] Pütz, Dr. Thomas (2010): Handbuch für das sektorlose Lotsenkonzept. Luftraummanagement 2020. Version 1.6. 28. September 2010 Firmeninternes Handbuch, Langen.
- [3] Schmitt, Angela R., Edinger, Christiane, Korn, Bernd (2011): Balancing Controller Workload within a Sectorless ATM Concept. CEAS Aeronautical Journal. 2011: Springer-Verlag GmbH

Abkürzungen

ACC	Area Control Center
ANSP	Air Navigation Service Provider
ATS	Air Traffic Service
ATSU	Air Traffic Service Unit
B/B-Kommunikation	Boden/Boden-Kommunikation
FIR	Flight Information Region
FRA	Free Route Airspace
HMI	Human Machine Interface
LFZ	Luftfahrzeug
LoA	Letter of Agreement
S-ATM	Sektorloses Air Traffic Management
SL-Luftraum	Sektorloser Luftraum
SL-Lotse	Sektorloser Lotse
TeFiS	Technologie für Luftverkehrsmanagement in großen Strukturen
UAC	Upper Area Control Centre
UIR	Upper Flight Information Region

Innovation im Fokus Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung

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

Dieser Zeitschrift wurde von der Deutschen Nationalbibliothek eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

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

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

Datum dieser Ausgabe: 23.12.2017

DISCLAIMER

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

COPYRIGHT

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

Copyright © 2018 by DFS Deutsche Flugsicherung GmbH - Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintrag.



Impressum

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung,
Entwicklung und Validierung

Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Günter Achatz, Ralf Bertsch,
Bereichsleitung Planung & Innovation

Redaktion:

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

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

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

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

Anschrift der Redaktion:

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

Nachdruck nur mit Genehmigung.

