





---

## Inhaltsverzeichnis

Übersicht der Artikel in diesem Heft .....	4
Die Initiative Digital Maintenance .....	5
Felix Braun, Eva Maria Gerber, Simon Krienke, Dominik Nischwitz & Anna-Lena Simon	
Effekte auf eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung – Eine Analyse des Komplexitätstools „AirMagic“ .....	12
Marco Kunitz	
Konstruktive Optimierung für die Entwicklung neuer Tower-Konsolen.....	23
Alexander Lozano Bauer	
Ergebnisse einer europaweit verteilten Virtual Centre Validierung .....	29
Dr. Markus Debusmann & Eliana Haugg	
Impressum .....	39

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

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

---

## Übersicht der Artikel in diesem Heft

**Felix Braun, Eva Maria Gerber, Simon Krienke, Dominik Nischwitz & Anna-Lena Simon:**

### **Die Initiative Digital Maintenance**

Als digitaler Enabler für den DFS-Bereich „Systeme und Infrastruktur Dienste (SIS)“ und die Instandhaltung hat das Team „Maintenance Solutions“ die Initiative „Digital Maintenance“ (DiMa) gestartet, um innovative Digitalkonzepte zu entwickeln und die Steuerung der relevanten Aktivitäten im digitalen Kontext zu verantworten. Die Initiative umfasst Lösungen zur digitalen Instandhaltung von flugsicherungstechnischen Anlagen während des gesamten Lebenszyklus. Im Fokus stehen nachhaltige und skalierbare, SAP-gestützte Prozessverbesserungen mit den Schwerpunkten Standardisierung, Automatisierung, Mobilisierung und Harmonisierung. Ein digitales Mindset, moderne Benutzeroberflächen und intelligente Methoden vervollständigen das Leitbild von DiMa. Die Initiative DiMa wurde als domänenübergreifende Weiterentwicklung von „Paperless Maintenance“ (PaMa) ins Leben gerufen.

### **Marco Kunitz: Effekte auf eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung – Eine Analyse des Komplexitätstools „AirMagic“**

Innerhalb der DFS wird das neuartige Komplexitätstool „AirMagic“ – neben der bisher alleinig verwendeten und von EUROCONTROL bereitgestellten Anwendung „Collaborative Human Machine Interface (CHMI)“ – ergänzend für eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung eingesetzt. Basierend auf Schnellzeitsimulationen und dank innovativer Systemfunktionalitäten verspricht „AirMagic“ wesentliche Verbesserungen für das betriebliche Verkehrsfluss- und Kapazitätsmanagement im Flugverkehr (engl. Air Traffic Flow and Capacity Management, ATFCM). Hierunter fallen beispielsweise eine optimierte Kapazitätsregulierung, ein effizienterer Flugbetrieb, eine zusätzliche Erhöhung der Sicherheit sowie grundlegende Flexibilitätsgewinne.

### **Alexander Lozano Bauer: Konstruktive Optimierung für die Entwicklung neuer Tower-Konsolen**

Die Arbeitsplätze der Towerlotsen verändern sich durch die Modernisierung der elektronischen Komponenten kontinuierlich. Im Zuge dessen sollen nun auch konstruktive Verbesserungen an den Tower-Konsolen realisiert werden, die Probleme im laufenden Betrieb bei der Instandhaltung und beim Umrüsten der Konsolen beseitigen sollen. Eine Hauptaufgabe war es, eine Neukonzeption für die Befestigung der Komponenten im Baugruppenträger (BGT) zu entwickeln, die Service, Wartung und Anpassung im laufenden Betrieb vereinfacht.

### **Dr. Markus Debusmann & Eliana Hagg: Ergebnisse einer europaweit verteilten Virtual Centre Validierung**

Das Konzept eines Virtual Centres (VC) sieht die Trennung der Air Traffic Service Unit (ATSU), in der die Dienstleistung Flugsicherung von Fluglotsen erbracht wird, und dem Ort der Datenbereitstellung, die durch einen oder mehrere ATM Data Service Provider (ADSP) erfolgt, vor. Hierbei können ATSU und ADSP organisatorisch getrennt sein. Traditionell werden beide Funktionen heute von Flugsicherungen erbracht. Es ist aber denkbar, dass dies in Zukunft getrennte Entitäten sein können und sich die Flugsicherungen stärker auf die Diensterbringung konzentrieren. Das Ziel ist es eine effizientere und flexiblere Diensterbringung zu ermöglichen, als dies heute der Fall ist. Dieses langfristige Ziel wurde 2019 von der europäischen Kommission auch in der vielbeachteten „Airspace Architecture Study“ festgeschrieben.

## Die Initiative Digital Maintenance

Felix Braun, Eva Maria Gerber, Simon Krienke, Dominik Nischwitz & Anna-Lena Simon

### Einleitung

Die Bedeutung analoger Informationsträger wie beispielsweise Handbücher, Papierlisten oder Aktenordner nimmt seit Jahren ab, zeitgleich nimmt die Bedeutung von digitalen Produkten stetig zu. Während 2009 nur ca. 6 Mio. Menschen in Deutschland ein Smartphone genutzt haben, hat sich diese Zahl bis zum Jahr 2020 auf mehr als 60 Mio. Menschen fast verzehnfacht [1]. Diese Entwicklung macht auch vor der Dokumentation, Bereitstellung und Nachweisführung von Geschäftsprozessen nicht halt. Dort finden digitale und mobile Lösungen mittlerweile in sämtlichen Unternehmensbereichen Anwendung und revolutionieren so auch die Instandhaltung technischer Anlagen bei der DFS.

Als digitaler Enabler für den DFS-Bereich „Systeme und Infrastruktur Dienste (SIS)“ und die Instandhaltung hat das Team „Maintenance Solutions“ die Initiative „Digital Maintenance“ (DiMa) gestartet, um innovative Digitalkonzepte zu entwickeln und die Steuerung der relevanten Aktivitäten im digitalen Kontext zu verantworten. Die Initiative umfasst Lösungen zur digitalen Instandhaltung von flugsicherungstechnischen Anlagen während des gesamten Lebenszyklus. Im Fokus stehen nachhaltige und skalierbare, SAP-gestützte Prozessverbesserungen mit den Schwerpunkten Standardisierung, Automatisierung, Mobilisierung und Harmonisierung. Ein digitales Mindset, moderne Benutzeroberflächen und intelligente Methoden vervollständigen das Leitbild von DiMa. Die Initiative DiMa wurde als domänenübergreifende Weiterentwicklung von „Paperless Maintenance“ (PaMa) ins Leben gerufen.

Die Anforderungen an die IT-Systeme und -Architektur steigen aufgrund der zunehmenden Komplexität von in- und externen Rahmenbedingungen kontinuierlich. Gleichzeitig müssen historisch gewachsene Datensilos, heterogene Schnittstellen und Insellösungen zugunsten effizienter Einsatz- und Analysemöglichkeiten abgebaut werden. Nur ein leistungsfähiger digitaler Kern (siehe Abbildung 1) kann bei SIS langfristig die Grundlage für wirtschaftliche und skalierbare Lösungen schaffen.

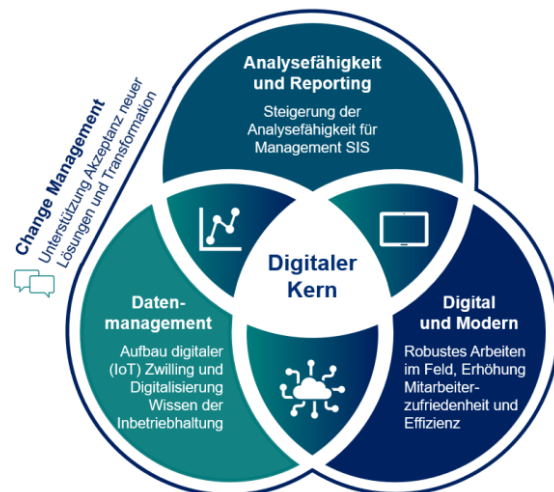


Abbildung 1: Digitaler Kern der Digitalisierungsroadmap SIS.

Die bundesweite Harmonisierung von IT-Systemen, die Einführung von Ende-zu-Ende-Prozessen, eine einheitliche Stammdatennutzung und eine Standardisierung von Prozessen in der IT-Zielarchitektur bilden das Fundament einer zeitgemäßen Instandhaltung (IH). Unter dem Titel Digital Maintenance vereinen sich gegenwärtig drei Themenrichtungen, die in den folgenden Abschnitten maßnahmenbezogen beleuchtet werden sollen:

- Mobile Work & Asset Management
- IIoT & Predictive Maintenance
- Digital & Smart Logistics

### Mobilisierung in der Instandhaltung

Um papierbasierte Prozesse abzulösen, die Leistungen externer Dienstleister transparenter zu machen und die Datenhoheit über bisher überwiegend von Externen vorgehaltene Informationen zu erlangen, hat der Bereich SIS im Jahr 2014 ein Vorhaben zur Digitalisierung der Instandhaltung im Technischen Gebäudemanagement (TGM) initiiert. Mit dem Vorhaben „Paperless Maintenance“ (PaMa) wurde der erste Ende-zu-Ende-Prozess für die automatisierte, SAP-gestützte Auftragsabwicklung in der Domäne TGM etabliert.

Auf Basis der bereits vorhandenen SAP-ERP-Infrastruktur mit den Modulen Instandhaltung (PM), Einkauf & Logistik (MM/IM), Controlling (CO) und Finanzwesen (FI) wurde die Steuerung der externen Dienstleister für das TGM



implementiert und die Beauftragung, Nachweisführung und Abrechnung von Aufträgen weitestgehend automatisiert.

In dem zeitgemäßen Ansatz der Dienstleistersteuerung erfolgt eine digitale Disposition der Instandhaltungsbedarfe durch die jeweiligen externen TGM-Objektleiter. Die TechnikerInnen melden ihre Leistungen für die zugewiesenen Instandhaltungsaufträge direkt über eine Applikation in die DFS-eigenen SAP-Systeme zurück. Statt Stift und Papier haben mit mobilen Endgeräten (iOS für DFS-interne Nutzer und Android für externe Nutzer) zeitgemäße Arbeitsmittel Einzug erhalten, die die Bereitstellung und Übermittlung relevanter Informationen beschleunigen sowie die Datenqualität erhöhen. Die Leistungsrückmeldungen werden stichprobenartig überprüft, und die Abrechnung erfolgt automatisiert mittels Gutschriftenverfahren. Für SIS liegen die Vorteile in der Sicherstellung der Datenhoheit, maximaler Transparenz über ausgeführte Instandhaltungsleistungen sowie der realistischen Abbildung der technischen Anlagen im eigenen SAP-System. Für die TechnikerInnen verbessert sich die Arbeitsplatzergonomie, Medienbrüche und Doppelarbeit werden vermieden und die Dokumentation vereinheitlicht.

Mit der konsequenten Ausweitung von Ansätzen zu mobilem Arbeiten und Anlagenmanagement (Mobile Work & Asset Management) auf die Domänen Navigation (NAV) & Surveillance (SUR) sollen die mit PaMa gewonnenen Erfahrungen und Lösungen schrittweise auf die Flugsicherungstechnik ausgeweitet und durch die Initiative DiMa etabliert werden. Mit der SAP-gestützten Abbildung der Instandhaltung sollen die bürokratischen Herausforderungen (z.B. heterogene Dokumentationslandschaften) reduziert und die Analysefähigkeit der System- und Produktmanagements (z.B. Ersatzteilverfügbarkeit) gestärkt werden.

Der SAP Asset Manager ermöglicht die Bereitstellung und direkte Abarbeitung der in SAP abgebildeten Aufträge für die Instandhaltung mit zugehörigen Checklisten auf dem mobilen Endgerät. Dadurch können Messwerte erfasst und für Analyse Zwecke u.a. auf den technischen Plätzen in SAP zurückgeschrieben werden. Ziel ist es, Mehrfacheingaben zu vermeiden, Dokumentationsaktivitäten zu vereinfachen und technische Arbeitsschwerpunkte zu stärken. Auch können Bauteile sowie deren Ein- und Ausbau vor Ort verbucht und direkt in den SAP-Reparaturkreislauf übergeben werden. Mit Abschluss der Wartungs- oder Entstörtätigkeiten an den Standorten soll auch die Dokumentation über den SAP Asset Manager abgeschlossen werden. Flugsicherungstechnische Anlagen bringen die Herausforderung mit, dass diese häufig

sehr weiträumig und in Bezug auf Mobilfunk in wenig erschlossenen Gebieten disloziert sind. Um einen sofortigen und insbesondere ortsunabhängigen Zugriff auf die Stamm- und Auftragsdaten des SAP-Systems zu ermöglichen, stellt der SAP Asset Manager einen Offline-Modus bereit, der es dem Systemmanagement ermöglicht, auch an Standorten ohne WLAN- oder LTE- Konnektivität auf die relevanten Daten zuzugreifen und diese lokal abzuspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt (bei Konnektivität) in das SAP-System zurückzuschreiben.

Durch die Anbindung eines systemseitig hinterlegten Personalstamms (HR-Ministamm) und die zentrale Pflege der Instandhaltungsarbeitsplätze werden Team- und persönliche Arbeitsplätze definiert, anhand welcher Instandhaltungsaufträge zugeordnet und eigenverantwortlich durch das Systemmanagement übernommen werden können. Dadurch wird die SAP-gestützte Abbildung und Dokumentation der Wartungs- und Entstörprozesse weitestgehend mobilisiert und auf ein digitales Medium reduziert.

Ein Pilotbetrieb des SAP Asset Managers in der Domäne SUR wurde im Sommer 2021 an den SIS-Niederlassungen Süd und West gestartet. Perspektivisch ist eine stärkere Integration des SAP Asset Managers in die IIoT Services (Industrial Internet of Things, siehe unten) geplant, um proaktiv auf Änderungen der Anlagenbedingungen (z.B. Verschleiß) reagieren und Wartungsarbeiten besser planen zu können.

### Industrial Internet of Things und Predictive Maintenance für die Instandhaltung

Die Einführung von Industrial Internet of Things (IIoT) - Services für den Anwendungsfall Predictive Maintenance ermöglicht die echtzeitbasierte Abbildung von Anlagenzuständen der (flugsicherungs-)technischen Infrastrukturen. Die IIoT-Sensordaten befähigen die dezentralen Systemmanagements in den regionalen SIS-Niederlassungen der DFS und die zentralen Produktmanagements, sich ein systematisches Abbild der realen Lage zu verschaffen und datenbasierte Entscheidungen zu treffen. Weiterhin ermöglichen die detaillierten Informationen eine enorme Verbesserung der Analyse- und Reportingmöglichkeiten. Durch den Einsatz von Machine Learning-Algorithmen sollen zukünftig proaktive Instandhaltungseingriffe die Verfügbarkeit operativer Anlagen steigern und kosteneffizienten Ressourceneinsatz ermöglichen. Im Kontext der Ende-zu-Ende-Prozesseffizienz sollen IIoT-Services zu vorausschauenden Wartungsaktivitäten sowie zu einer automatisierten Bereitstellung von Ersatzteilen

maßgeblich beitragen. Hierzu sollen im Rahmen von IIoT Instandhaltungsprozesse mit digitaler Durchgängigkeit bis ins SAP ERP-System etabliert werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verknüpfung von IIoT-Services mit dem zuvor beschriebenen Mobilien Arbeiten mittels SAP Asset Manager, welcher für die Wartungs- und Entstördokumentation eingesetzt wird. Um das Systemmanagement bei der Wartung bzw. Entstörung einer Anlage bestmöglich zu unterstützen, sollen mit Hilfe einer Schnittstelle zwischen IIoT-Services und SAP Asset Manager relevante Informationen zur Wartung bzw. Entstörung einer Anlage mobil zur Verfügung gestellt werden. Im Gegenzug sollen Informationen aus dem SAP Asset Manager in die Machine Learning Modelle zur prädiktiven Instandhaltung einfließen.

Aktuell befindet sich das IIoT- und Predictive-Maintenance-Vorhaben in der Pilotierungsphase. In diesem Rahmen wurden die drei Pilotstandorte Erfurt (Remote Tower Control, RTC), Düsseldorf (Airport Surveillance Radar, ASR) und Großhaager Forst (Surveillance Radar Equipment Medium-range, SREM) mit IIoT-Sensoren und zertifizierten IIoT-Controllern ausgestattet und an die SAP Business Technology Platform (SAP BTP) angebunden. Zur Visualisierung und Auswertung der IIoT-Sensordaten wird die SAP Predictive Asset Insights Applikation (SAP PAI) der SAP BTP eingesetzt. Für die Ausstattung von flugsicherungstechnischen Anlagen mit IIoT-Sensoren wird eine technologische Infrastruktur benötigt, die Datenflüsse zwischen den Anlagen auf Feldebene und SAP PAI etabliert. Zur sicheren Kommunikation der IIoT-Sensoren und Controller mit der SAP BTP wird die Verbindung durch den Einsatz eines geeigneten Gateways realisiert. Dazu werden Sensordaten aus den DFS-Standorten empfangen und mittels verschlüsselter Verbindungen via MQTT-Protokoll (Message Queuing Telemetry Transport) an die Cloud Services von SAP übermittelt. Auf Netzwerkebene erfolgt die vorgegebene Trennung zwischen den operativen Flugsicherungsdaten und den IIoT-Sensordaten.

Abbildung 2 zeigt den provisorischen Testaufbau eines Schwingungstransmitters an einem Antennenantrieb der ASR Düsseldorf. Der zugehörige IIoT Use Case dient der Überwachung des Antennenantriebs. Hierzu werden zusätzlich zu der Schwinggeschwindigkeit die Tempe-



Abbildung 2: Schwingungstransmitter ASR Düsseldorf.

ratur und Leistung der Antriebsmotoren sowie aktuelle Wetterdaten und eine Schlupfüberwachung ausgewertet.

Die erfassten Sensordaten werden in PAI grafisch visualisiert und können mit Hilfe einer Rule- sowie einer Machine Learning Engine in PAI ausgewertet werden. In der Rule Engine können hierzu regelbasierte Grenzwerte definiert werden, bei deren Über- bzw. Unterschreitung ein Alarm ausgelöst und ein dedizierter Empfängerkreis per Mail benachrichtigt wird.

Für eine komplexere Datenanalyse kann die Machine Learning Engine eingesetzt werden. Diese bietet Algorithmen zur Anomaliedetektion sowie zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlagenteile. Die hierzu erforderliche Datenbasis wird mit der Installation und Anbindung der Sensoren aufgebaut. Zusätzlich stellt PAI eine Schnittstelle bereit, um die vorhandenen Machine Learning Funktionalitäten durch Eigenentwicklungen zu ergänzen. Dies bietet beispielsweise die Möglichkeit, Fehlerfälle zu klassifizieren und durch die Anbindung an das SAP ERP System Ersatzteile für die Entstörung von Anlagen proaktiv bereitzustellen.

## SAP Warehouse Management zur Lagerverwaltung des neuen Zentrallagers

Der Bereich SIS hält für die Instandhaltung der flugsicherungstechnischen Systeme wie Navigations-, Kommunikations- und Ortungsanlagen mehr als drei Millionen Bau- und Ersatzteile vor. Die Abteilung Logistik ist für die zentrale Lagerung und Distribution (Zentrallager) sowie für die zentrale Instandsetzung (ZI) zuständig. Mit dem Bau eines rund 8.800 Quadratmeter großen Logistikgebäudes (Logistikzentrum) lagert das Material wieder zentral auf dem DFS-Campus. Neben dem Zentrallager und der ZI beherbergt das Logistikzentrum auch die zentrale Poststelle sowie die Referenzsysteme der Messtechnik. Zur Lagerverwaltung und Integration der gewachsenen technologischen Infrastruktur wurde das System SAP Warehouse Management (SAP WM) eingeführt und die Logistikprozesse vor dem Hintergrund der Mobilisierung und Digitalisierung modernisiert (siehe Abbildung 3).

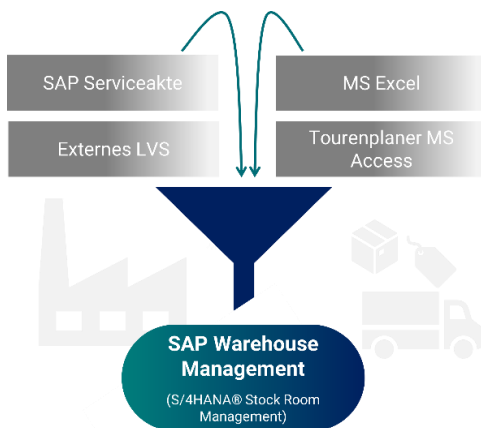


Abbildung 3: Ablösung der unterschiedlichen Lagerverwaltungssysteme durch SAP WM.

Auf dem Weg zum „Connected Warehouse“ spielen neue Technologien und Schnittstellen eine wesentliche Rolle. Zur Bereitstellung der SAP-WM-Standardfunktionalitäten wurde eine Applikation basierend auf ITS-Mobile eingeführt, die das Abarbeiten von Lagerbewegungen vereinfacht und mobilisiert. Die Applikation mit dem Titel „RF Suite“ kann sowohl über mobile Endgeräte (iOS), Webbrowser als auch die SAP Frontend (GUI) bedient werden. Für die Bedienung am Smartphone wurde das erste DFS-Data WLAN in der Lagerhalle etabliert und die Verbindung in das SAP ERP System der DFS mittels einer VPN-Tunnel-Technologie realisiert. Das Device Management erfolgt via MS Intune.

Die Software bringt neue Belege mit sich, insbesondere unterschiedliche Labels mit allen relevanten Informationen, die auf das Material geklebt werden. Zentral angeordnet sind QR Codes, die die Eingabe der Informationen am mobilen Endgerät vereinfachen. Zum Erfassen der QR Codes kommen Scaneinheiten zum Einsatz, die als zusätzliche Hülle an den mobilen Endgeräten angebracht werden und die Informationen übersetzen und einlesen.

Für den Druck der Labels wurden mobile und stationäre Labeldrucker eingeführt. Die stationären Labeldrucker stehen an den Wareneingangs- und Warenausgangs-arbeitsplätzen, wohingegen die mobilen Labeldrucker am Körper getragen werden und insbesondere für ad-hoc Umlagerungen und die Kommissionierung zum Einsatz kommen.

Die Materialbewegungen im Lager werden durch WLAN-integrierte Flurförderfahrzeuge mit automatischer Zugangskontrolle und Kollisionsüberwachung unterstützt. Die bereitgestellte Lagerfläche des Zentrallagers wird durch den Einsatz von insgesamt vier automatischen Lagerliftanlagen vervielfältigt. Die Integration des Lagerliftsystems erfolgt mit einem SAP AddOn, sodass die Lagerliftanlagen direkt aus dem produktiven SAP-System angesteuert werden. Die Bedienung erfolgt vor Ort durch entsprechend konfigurierte Industrie-PCs mit benutzerfreundlicher Touchfunktion.



Abbildung 4: Modellabbildung des neuen Logistikzentrums.

Mit dem erfolgreichen Go-live von SAP Warehouse Management und den relevanten Technologien wurden bereits rund 8400 Materialnummern mit insgesamt 1,96 Millionen Materialbeständen migriert. Für die SAP-seitige Anpassung der Software wurden über 240 Transportaufträge in die Systemlandschaft importiert. Zukünftig werden mehr als 900 bisher nicht bestandswertgeführte Materialien im System integriert. Mit Abschluss des ersten Quartals 2021 wurden bereits über 3.500 Lagerplätze und 3.700 Liftlagerplätze systemisch erfasst und gepflegt. Die SAP-Prozesse werden analog zum fortschreitenden Umzug des Fachbereichs Logistik zurück an den DFS-Campus schrittweise in Betrieb genommen. In die neuen Büro-



und Lagerflächen wird auch eine modernisierte und digitalisierte Poststelle in das Gebäude einziehen.

## Digitale Postservices am Campus Langen

„Auf der letzten Meile entstehen 50 Prozent der Kosten bei der Paketlieferung“, sagt Prof. Kai-Oliver Schocke gegenüber der dpa [2] und meint damit die Kosten, die entstehen, wenn ein Kurier-Express-Paket-Dienstleister Pakete von dem letzten Verteilzentrum an den Endkunden ausliefert. Mit Blick auf die DFS-Poststelle wird deutlich, dass dort ein Großteil der Aktivitäten der Sendungsabwicklung die Endzustellung der gelieferten Briefe, Päckchen und Pakete betrifft.

Die Digitalisierung der Poststelle ist eine Maßnahme, die gemeinsam durch die MitarbeiterInnen des DFS-Postservice und das DiMa-Team mit Unterstützung durch den internen IT-Bereich (Systemhaus) vorangetrieben wird. Ziel der Maßnahme ist die Einführung einer softwaregestützten Sendungsverarbeitung zur elektronischen Erfassung, Übergabe und Dokumentation von dienstlichen Sendungen am DFS-Standort Langen. Neben der digitalen Abbildung des Sendungsprozesses zur Nachverfolgung (Tracking & Tracing) werden insbesondere Kostenreduktionen durch eine zentralisierte Postverteilung angestrebt.

Ein Kernelement bildet die intern gehostete Poststellen-Software mit Schnittstellen zum DFS-Verzeichnisdienst Active Directory (AD), dem Ausweisverwaltungssystem (AVS) und den eingesetzten mobilen Endgeräten (iOS). Dies geht einher mit der von DiMa angestrebten Standardisierung und Vereinheitlichung von Datenstrukturen durch einen eindeutigen und allgemeingültigen Datenbestand.

Durch eine standardisierte LDAP-Schnittstelle (Lightweight Directory Access Protocol) an das AD werden nächtlich aktualisierte Personaldaten bereitgestellt, sodass die Zieladressen der internen Post auch bei Eintritt, Austritt oder Umzug berücksichtigt werden. Auch die Ausweisdaten werden täglich aus dem AVS importiert, sodass bei einem Wechsel des Ausweises (bspw. verlorener, vergessener Ausweis) der volle Zugriff auf die Post tagesgleich sichergestellt ist. Diese standardisierten Schnittstellen haben zur Folge, dass Pflege- und Verwaltungsaufwände reduziert und redundante Datenstrukturen eliminiert werden.

Statt eingehende Sendungen manuell zu bearbeiten, können zukünftig die EmpfängerInnen mit einem OCR-Scanner (Texterkennung) erfasst und die Sendungen je nach Art auf einen vordefinierten Zustellungsweg gebracht werden. Dabei werden für die Revision

relevante Bearbeitungsschritte erfasst und gespeichert. Per Mail wird der/die DFS-interne EmpfängerIn über den Status der Sendung und Zustellart informiert.

Mit Einführung der DiMa-Postfachanlage im Foyer der Unternehmenszentrale (UZ) werden insbesondere die hohen Kosten der „letzten Meile“ reduziert, da vergebliche Zustellungen vermieden und Abstimmungsbedarfe obsolet werden. Auch können durch die Postfachanlage Sendungen sicher hinterlegt und in Zeiten von stark genutztem Homeoffice jederzeit abgeholt werden. Sendungen, die nicht in die UZ ausgeliefert werden oder nicht in die Postfachanlage passen, werden auf dem konventionellen Wege zugestellt. Zur Dokumentation des Sendungsstatus werden die Übergabe oder die Hinterlegung einer Sendung mithilfe eines mobilen Endgeräts (iOS) quittiert.

Die Digitalisierung der Poststelle verdeutlicht die Ambitionen der Initiative DiMa, Digitalisierungsvorhaben DFS-weit voranzutreiben und unterschiedlichsten Stakeholdern einen Nutzen zu bringen. Mit dem Schwerpunkt der Digitalisierung für die Instandhaltung von flugsicherungstechnischen Anlagen wurde bereits 2018 die „Roadmap Digitalisierung SIS“ aufgesetzt, welche seither als Leitbild für DiMa dient und kontinuierlich weiterentwickelt wurde.

## Roadmap Digitalisierung SIS

Als digitaler Enabler verantwortet das Team Maintenance Solutions mit der Initiative DiMa die digitale Transformation des DFS-Bereichs SIS. Hierzu zählen die Identifikation neuer Trends und Technologien, die Entwicklung innovativer Digitalkonzepte und die Steuerung von Aktivitäten im digitalen Kontext. Ein grundlegender Bestandteil dieser Aufgabe ist die Umsetzung und Weiterentwicklung der „Roadmap Digitalisierung SIS“, welche mit den Handlungsfeldern:

- Maintenance Business Intelligence,
- Digitaler Zwilling,
- Maintenance IIoT und
- übergreifenden Themen

als wegweisende Strategie für die kurz-, mittel- und langfristigen Digitalisierungsvorhaben des Bereichs gilt. Hierzu strukturiert die Roadmap die Maßnahmen zum Ausbau digitaler Fähigkeiten und einer zeitgemäßen Instandhaltung. Damit dieser Ausbau nachhaltig gelingen kann, sind grundsätzliche Leitplanken zwingend zu berücksichtigen. Nur ein sauberer, digitaler Kern kann bei SIS langfristig die Grundlage für wirtschaftliche und skalierbare Lösungen darstellen. Hierzu müssen Kernprozesse harmonisiert und standardisiert sowie

skalierbare IT-Lösungen geschaffen werden. Weiterhin muss im Sinne der digitalen Transformation eine zukunftsorientierte Kultur im Unternehmen verankert und ein Bewusstsein für die wirtschaftliche Bedeutung von Ende-zu-Ende Prozessen geschaffen werden.

Die Handlungsfelder der „Roadmap Digitalisierung SIS“ werden seit deren Verabschiedung konsequent umgesetzt. Dabei stellen die zuvor beschriebenen Vorhaben Mobile Work & Asset Management sowie IIoT & Predictive Maintenance elementare Bestandteile der Roadmap dar. Mit der Durchführung von Studien zur SIS-Lagerlogistik und zum Lifecycle-Management des TGM-Produktmanagements wurde die Roadmap um den Themenbereich Digital & Smart Logistics erweitert und das Portfolio im Bereich Product-Lifecycle-Management breiter aufgestellt.

Bereits heute ebnet die „Roadmap Digitalisierung SIS“ den Weg in die digitale Instandhaltung. Mit den bereits erfolgten Maßnahmen konnten wichtige Grundlagen geschaffen und Meilensteine erreicht werden. Der rasante Zuwachs an Smartphone-Nutzern in Deutschland verdeutlicht, dass digitale Technologien im privaten und geschäftlichen Umfeld zunehmend an Relevanz gewinnen und analoge Informationsträger weiter vertreiben. In Hinblick auf die zunehmenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen müssen digitale Technologien skalierbar gemacht und flächendeckend in die Prozesse von SIS integriert werden. Gemeinsam mit den Prozessverantwortlichen aus den unterschiedlichen SIS-Domänen freut sich das DiMa-Team diese Herausforderungen unter dem Motto "SIS. WE ENABLE FUTURE" in Angriff zu nehmen und die digitale Reife im Bereich SIS weiter auszubauen.

## Abkürzungsverzeichnis

AD	Active Directory
ASR	Airport Surveillance Radar
AVS	Ausweisverwaltungssystem
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DiMa	Digital Maintenance
GUI	Graphical User Interface
HR	Human Resources
IH	Instandhaltung
IIoT	Industrial Internet of Things

iOS	Betriebssystem des Unternehmens Apple
IT	Informationstechnik
ITS-Mobile	Technologie zur Verbindung mobiler Endgeräte mit einem SAP-System
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LTE	Long Term Evolution
LVS	Lagerverwaltungssystem
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MS	Microsoft
NAV	Navigation
OCR	Optical Character Recognition
PC	Personal Computer
PAI	Predictive Asset Insights
PaMa	Paperless Maintenance
QR	Quick Response
RTC	Remote Tower Control
SAP	Systeme, Anwendungen, Produkte
SAP BTP	SAP Business Technology Platform
SAP PAI	SAP Predictive Asset Insights
SAP WM	SAP Warehouse Management
SIS	Systeme und Infrastruktur Dienste
SREM	Surveillance Radar Equipment Medium-range
SUR	Surveillance
TGM	Technisches Gebäudemanagement
UZ	Unternehmenszentrale
VLAN	Virtual Local Area Network
VPN	Virtual Private Network
WLAN	Wireless Local Area Network
ZI	Zentrale Instandsetzung

## Referenzen

- [1] Statista (2020, November). *Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2020*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonenuutzer-in-deutschland-seit-2010/> [Zugriff am 08.07.2021].
- [2] Deutsche Presse Agentur (2019, 6. März). *Boom mit Problemen: Paketbranche feilt an "letzter Meile"*. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/news/2019-03/06/boom-mit-problemen-paketbranche-feilt-an-letzter-meile-190306-99-264826> [Zugriff am 08.07.2021].

## Effekte auf eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung – Eine Analyse des Komplexitätstools „AirMagic“

Marco Kunitz

### Einleitung

Innerhalb des Umfelds der DFS wird das neuartige Komplexitätstool „AirMagic“ – neben der bisher alleinig verwendeten und von EUROCONTROL bereitgestellten Anwendung „Collaborative Human Machine Interface (CHMI)“ – ergänzend für eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung eingesetzt. Basierend auf Schnellzeitsimulationen und dank innovativer Systemfunktionalitäten verspricht „AirMagic“ wesentliche Verbesserungen für das betriebliche Verkehrsfluss- und Kapazitätsmanagement im Flugverkehr (engl. Air Traffic Flow and Capacity Management, ATFCM). Hierunter fallen beispielsweise eine optimierte Kapazitätsregulierung, ein effizienterer Flugbetrieb, eine zusätzliche Erhöhung der Sicherheit sowie grundlegende Flexibilitätsgewinne.

Trotz dieser zukunftsweisenden Funktionsvielfalt ist die Anwendung „AirMagic“ bisher ausschließlich in der DFS-Kontrollzentrale München in einem intensiven operativen Einsatz. Daher konzentriert sich das zugehörige Forschungsvorhaben auf die Betrachtung der dort erfahrenen (Prognose-)Qualität, der bisherigen Nutzererfahrungen samt möglicher Prozessanpassungen sowie die Identifizierung zukünftiger Anwendungsfälle und Entwicklungspotenziale.

### Problemstellung

Die Hauptaufgabe der DFS besteht in der Erbringung der Flugverkehrskontrolldienste (FVK) im deutschen Luftraum und an den internationalen Verkehrsflughäfen sowie einigen Regionalflughäfen Deutschlands. Das damit einhergehende Ziel einer sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Luftverkehrs besitzt oberste Priorität (§ 27c LuftVG). Die damit einhergehenden Ziele spiegeln sich vorwiegend in den beiden Kennzahlen Sicherheit und Pünktlichkeit wider.

Mit Blick auf den Aspekt Sicherheit gelingt es der DFS beständig, trotz eines stetig ansteigenden Luftverkehrs innerhalb Europas (Stand Q1/20) äußerst gute Leistungen zu erzielen (vgl. [3]).

Hinsichtlich des Kriteriums Pünktlichkeit ergibt sich aufgrund einer Vielzahl von Faktoren, welche potenziell Einfluss auf den zeitlichen Verlauf eines Fluges nehmen,

ein weitaus komplexerer Rahmen. Eine retrospektive Analyse von EUROCONTROL (vgl. [4]) für das Jahr 2019 weist ein Ergebnis von durchschnittlich 13,1 Verspätungsminuten pro Flug in Europa auf. Diese Gesamtzahl lässt sich auf unterschiedlichste Ursachen zurückführen (siehe Abb. 1). Mit insgesamt 9,1 Verspätungsminuten (= 69,47 %) entfällt der überwiegende Anteil auf die beiden erstgenannten Kategorien „Reactionary“ und „Airline“.

Den Flugsicherungen stehen als beeinflussbare Größe zur Reduzierung von Verspätungsminuten die bereits angesprochenen Verkehrsflussregelungsmaßnahmen (engl. Air Traffic Flow Management, ATFM) zur Verfügung. Diese werden unter den in Abb. 1 separat ausgewiesenen Hauptkategorien „ATFM En-Route“, „ATFM Airport“ sowie „ATFM Weather“ subsumiert. Im europäischen Durchschnitt beträgt der zusammengefasste Anteil aller ATFM-bedingten Verspätungen 2,65 Minuten oder 159 Sekunden (= 20,23 %). Obwohl die im

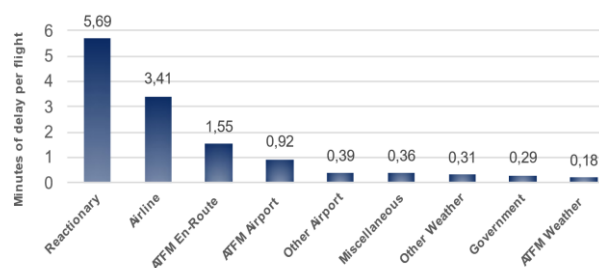


Abb. 1: Hauptkategorien gemeldeter Verspätungen 2019 (Quelle: angelehnt an [1]).

Jahr 2019 durchschnittlich pro Flug angefallenen 95,2 Sekunden ATFM-Verspätung im deutschen Luftraum bereits deutlich unter diesem Mittelwert liegen, offenbart sich im Vergleich der zehn verkehrsreichsten Länder in Europa vorhandenes Optimierungspotenzial für Deutschland (siehe Abb. 2). Etwa 71 der rund 95 ATFM-Verspätungssekunden lagen hierbei in direkter Verantwortung der deutschen Flugsicherung (vgl. [3]). Die übrigen 14 Verspätungssekunden kommen aufgrund unerwarteter Einschränkungen im Zusammenhang mit der Flughafen-Infrastruktur („ATFM Airport“) sowie infolge wetterbedingter Situationen („ATFM Weather“) zustande, sodass eine direkte Einflussnahme zu einer Reduzierung derselben unmöglich ist.



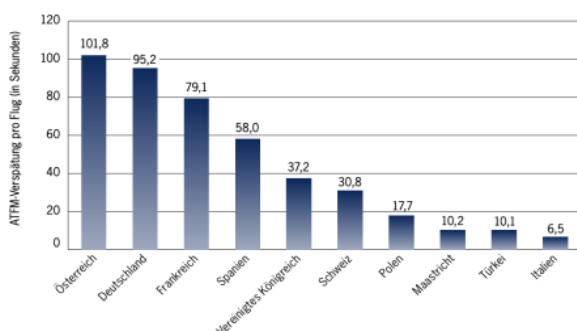


Abb. 2: Pünktlichkeit im europäischen Vergleich 2019  
(Quelle: angelehnt an [1]).

Einen wesentlichen Einflussfaktor, den es bei der Interpretation der soeben vorgestellten Zahlenwerte bezüglich durchschnittlicher Verspätungen entsprechend zu berücksichtigen gilt, stellt immer auch die geografische Konstellation eines Landes dar. Im Jahr 2019 wurde erstmalig die Anzahl von über zehn Millionen kontrollierten Flügen innerhalb der europäischen Mitgliedstaaten erreicht. Aufgrund der zentralen Lage Deutschlands führte dabei nahezu jeder dritte Flug durch den deutschen Luftraum. Dieser zählt somit zu einer der frequentiertesten Regionen Europas (vgl. [3]). Die hieraus resultierende Verkehrsdichte in Kombination mit zusätzlichen Faktoren – u.a. ein beträchtlicher Anteil an Vertikalbewegungen – führt zu einer ausgeprägten Luftraumkomplexität, welche die Relevanz des ATFCM für eine effektive Verringerung von Verspätungen bekräftigt.

Neben den soeben dargelegten Potenzialen eines möglichst effizienten Verkehrsflussmanagements eröffnet „AirMagic“ der DFS zudem die Möglichkeit, weiteren – zumeist externen – Rahmenbedingungen und Vorgaben gerecht zu werden. Ein Beispiel hierfür stellt das bereits erwähnte Verkehrswachstum im europäischen Luftraum dar, welches – zumindest bis zum Beginn der COVID-19-Pandemie – gemäß der weltweiten Verkehrsentwicklung eine konstante Steigerung erfahren hat. Infolgedessen ergaben sich zunehmend Engpässe bei den zur Verfügung stehenden Sektorkapazitäten. Den limitierenden Faktor in diesem Zusammenhang bildete der sogenannte Capacity Default Value (CDV). Dieser definiert die numerische Obergrenze von innerhalb eines Sektors zugelassenen Luftfahrzeuge pro Stunde. Der CDV eines Sektors ist grundsätzlich äußerst konservativ gewählt, sodass die avisierte Verkehrsmenge – losgelöst von einer bestimmten Konstellation des Luftverkehrs bzw. des Verkehrsmix – jederzeit sicher abgearbeitet werden kann. Unter einer sicheren Abarbeitung wird vorwiegend die Einhaltung

vorgeschriebener Mindestabstände respektive die Staffeln der Luftfahrzeuge zueinander verstanden. Gleichzeitig wird mithilfe des CDV sichergestellt, dass die Verkehrsmenge die maximal leistbare Arbeitslast der Fluglotsin/des Fluglotsen nicht übersteigt. Hierdurch soll selbst bei komplexen Verkehrssituationen eine Überlast vermieden werden. Laut Expertenschätzung umfassen solch kritische Situationen weniger als 1 % aller Fälle, sodass grundsätzlich von einer Ineffizienz hinsichtlich der eigentlich leistbaren Arbeitslast auszugehen ist. Die komplementären Funktionen von „AirMagic“ weichen diese starren Grenzen auf, da neben der numerischen Kennziffer erstmalig auch die Komplexität des Verkehrs Einzug in die Berechnungen erhält. Resultierend erhöht sich die Produktivität einer jeden Fluglotsin / eines jeden Fluglotsen. Zugleich zieht ein Überschreiten des CDV nicht mehr zwingend eine Änderung der aktuellen Sektor-konfiguration oder entsprechende Verkehrsflussregelungsmaßnahmen und somit auch keinen zusätzlichen Personaleinsatz nach sich.

Einen weiteren Vorteil der Inbetriebnahme von „AirMagic“ stellt die Tatsache dar, dass hierdurch mehreren Vorgaben der Europäischen Union (EU) entsprochen wird. Unter anderem existiert eine sogenannte Durchführungsverordnung (DVO) der EU, welche die Modernisierung des Flugverkehrsmanagements in Europa sicherstellen soll. Diese DVO schreibt eine schrittweise Implementierung diverser „Air Traffic Management (ATM)“-Funktionalitäten in Bezug auf ein verbessertes Verkehrsfluss- und Kapazitätsmanagement verpflichtend vor (vgl. [5]). Überdies werden die europäischen Flugsicherungsorganisationen durch ergänzende (Regulierungs-)Vorgaben der EU zu umfassenden Kostenreduzierungen verpflichtet (vgl. [6]).

## Theoretische Grundlagen zu „AirMagic“

### Datenquellen

Die Berechnung der Verkehrsprognosen von „AirMagic“ erfolgt unter Einbezug einer Vielzahl unterschiedlicher Datenquellen (siehe Abb. 3), die man nach statischen und dynamischen Daten unterscheiden kann.

Die statischen Daten – u.a. die Definition von Wegpunkten sowie Übergabebedingungen – umfassen all diejenigen Daten, mit deren Hilfe die Luftraumstruktur der DFS inklusive des Regelwerks für die Fluglotsinnen und -lotsen abgebildet werden. Aufgrund etwaiger Änderungen zu den regelmäßig stattfindenden AIRAC-Terminen unterliegen auch diese Daten mitunter Modifizierungen.

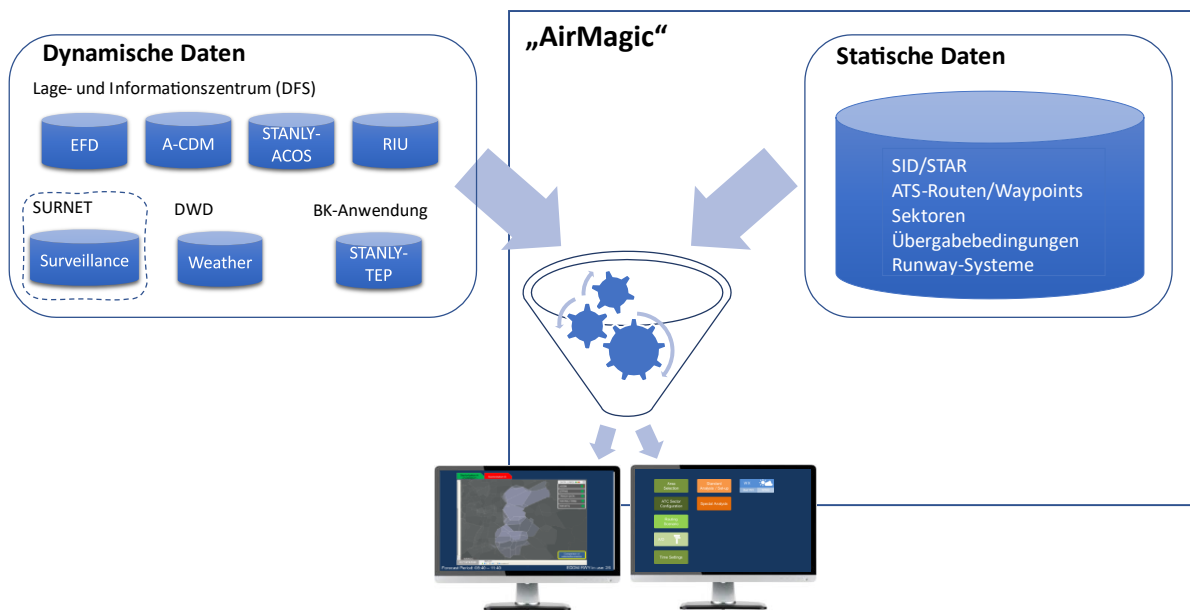


Abb. 3: Übersicht der Eingangsdaten von „AirMagic“.

Im Gegensatz dazu werden die dynamischen Daten – hierzu zählen bspw. Radar- und Wetterdaten, „Runway in Use“-Informationen und die Flugplandaten – allesamt automatisiert bezogen. Der Großteil hiervon gelangt über eine Schnittstelle des sogenannten Lage- und Informationszentrums (LIZ) der DFS in das System.

Die im Vergleich zum Status quo stattfindende Ausweitung der Datenbasis führt zu einer merklichen Qualitätssteigerung der ausgegebenen Prognosewerte. Zugleich erfährt erstmalig eine Komplexitätsbewertung der zu erwartenden Verkehrsmenge Berücksichtigung. Dies ermöglicht eine Aussage hinsichtlich der bevorstehenden Arbeitslast der Fluglotsinnen und -lotsen (vgl. [7]).

## Generelle Funktionsweise

Das für die Analysen einbezogene Simulationsgebiet umfasst die Zuständigkeit der Kontrollzentrale inklusive einer horizontalen Erweiterung um ca. 100 nautische Meilen. Aus vertikaler Sicht erstreckt sich der Simulationsbereich bis zur Obergrenze der Flight Information Region (FIR) EDMM – sprich Flight Level 315  $\cong$  31.500 Fuß. Mithilfe der zentral beim Network Manager Operations Centre (NMOC) vorliegenden Flugpläne, die über die „ETFMS Flight Data (EFD)“-Anbindung einlaufen, werden unter Berücksichtigung der gültigen Prozeduren und Verfahrensweisen die Vertikalprofile der einfliegenden Luftfahrzeuge abgebildet. Unter Einbezug aller zusätzlich verfügbaren Daten (siehe

Abb. 3) stehen nach kurzer Zeit diverse Prognosewerte auf Sektorebene zur Verfügung.

Hierzu gehören u.a. die voraussichtliche Verkehrsverteilung, prognostizierte „Entry Count“-Werte, potenzielle Konflikte zwischen Luftfahrzeugen oder auch die zu erwartende Arbeitslast der Fluglotsinnen und -lotsen. Diese Simulationen werden innerhalb kurzer Zeitabstände automatisiert wiederholt. Hierbei gilt: Je näher die Ereignisse innerhalb des vorgegebenen Prognosezeitraums am aktuellen Zeitpunkt liegen, desto genauere Vorhersagewerte ergeben sich aufgrund der zunehmenden Präzision der vorliegenden EFD. Im Rahmen des taktischen ATFCM erfolgt nun eine manuelle Auswertung verschiedener Sektorkonfigurationen auf Basis dieser simulierten Prognosewerte. Das Ergebnis ist eine an die aktuelle Verkehrssituation möglichst optimal angepasste Sektorkonfiguration, einhergehend mit einem ebenfalls optimierten Personaleinsatz (vgl. [7]).

## Komplexitätsbestimmung

Die Bestimmung der Komplexität für den Einbezug der Workload einer Fluglotsin oder eines Fluglotsen erfolgt mithilfe eines zeitbasierten Arbeitslastmodells. Dieses setzt sich aus einer Anzahl festgelegter Aufgaben zusammen, die im operativen Flugsicherungsbetrieb typischerweise ausgeführt werden. Für die Dauer der Durchführung ist jeweils ein Zeitwert hinterlegt. Die in

diesem Kontext definierten Zeitspannen können dabei je nach Sektor variieren. Zur initialen Bestimmung realistischer Zeitwerte wurden entsprechende Messkampagnen durchgeführt und ausgewertet. Um betrieblichen Änderungen – bspw. aufgrund erforderlicher Anpassungen bezüglich der bestehenden Luftraumstruktur – berücksichtigen zu können, ist eine etwaige Anpassung dieser Zeitwerte jederzeit möglich. Das Arbeitslastmodell unterscheidet grundlegend zwischen den beiden Rollen „Executive Controller“ und „Planner Controller“. Im Falle des „Executive Controllers“ divergieren die ermittelten Zeitspannen der Aufgaben zusätzlich in Abhängigkeit zum konkreten Einsatzgebiet (En-Route, Pick-up, Feeder). Abb. 4 und die nachfolgende Erklärung zeigen exemplarisch das zugrundeliegende Funktionsprinzip auf.

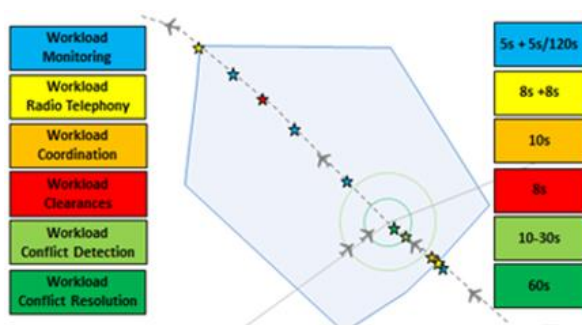


Abb. 4: DFS En-route Workloadmodell  
(Quelle: [6]).

Für die dargestellten Aufgaben werden Standardzeitwerte angenommen. Das generelle Monitoring wird initial mit fünf Sekunden veranschlagt, wobei alle 120 Sekunden weitere fünf Sekunden hinzukommen. Die „Radio Telephony“ (Funkkontakt zum Luftfahrzeug) wird mit jeweils acht Sekunden eingeplant. Die weiteren Aufgaben „Coordination“ (zehn Sekunden), „Clearances“ (acht Sekunden), „Conflict Detection“ (zehn bis 30 Sekunden) sowie „Conflict Resolution“ (60 Sekunden) ergeben zusammengefasst weitere 88 bis 108 Sekunden. Die Summe all solcher Aufgabenzeitspannen ergibt letztlich die resultierende Arbeitslast. Gemäß des Standards nach EUROCONTROL liegt der einzuhaltende Grenzwert bei 42 Minuten pro Zeitstunde. Bei einer Überschreitung dieser Kennzahl wird von einer Überlastsituation gesprochen (vgl. [8]).

## Untersuchungsgegenstand

Mit der Verwendung des Systems „AirMagic“ und dessen komplementären Funktionsumfang wird eine grundlegende Steigerung der Planungsgenauigkeit für das taktische ATFCM erwartet. Konsequenterweise ergeben sich hierdurch weiterführende Auswirkungen auf das

operative Flugsicherungsumfeld, welche – in Abhängigkeit zum jeweiligen Verkehrsmix – eine verstärkte Flexibilität hinsichtlich der CDVs begünstigen. Als Ziel dieser Arbeit sollte daher überprüft werden, welche betrieblichen Auswirkungen sich durch den operativen Einsatz des Planungstools „AirMagic“ ergeben.

Konkret wurden folgende Fragestellung untersucht:

1. Ergeben sich positive Effekte auf die Effizienz bei der sicheren Abwicklung des Luftverkehrs?
2. Führt die Verfügbarkeit erweiterter Anzeigewerte zu einer Anpassung der bisherigen Arbeitsweisen?
3. Eröffnen sich aufgrund der erweiterten Funktionen und Auswertemöglichkeiten des Tools zusätzliche Anwendungsfälle für den operativen Flugsicherungsbetrieb?

Zur Beantwortung dieser Fragen kamen Instrumente der empirischen Forschung zum Einsatz, wobei quantitative und qualitative Methoden miteinander verknüpft wurden (vgl. [9]). Nachfolgend werden die einzelnen Fragestellungen separat betrachtet und das jeweils gewählte Vorgehen dargelegt.

## Bewertung der Effizienzsteigerung bei der Flugverkehrskontrolle

Aufgrund der bei der Anwendung „AirMagic“ zusätzlich verwendeten Eingangsdaten wird von einer grundlegenden Verbesserung der (Verkehrs-)Prognosen ausgegangen. Dies wirkt sich positiv auf die taktischen ATFCM-Entscheidungen aus und impliziert somit einen entsprechenden Effizienzgewinn bei der sicheren Abwicklung des Luftverkehrs.

Für die Überprüfung dieser Annahme wurde eine Vergleichsuntersuchung der jeweiligen Vorhersagewerte von „AirMagic“ und CHMI durchgeführt. Als Referenzwert dienten die im Nachgang eines Fluges aufgezeichneten Surveillance-Daten, anhand derer sich die tatsächlich zurückgelegte Trajektorie eines jeden Luftfahrzeugs nachvollziehen lässt. Im Sinne der vorliegenden Hypothese ist ein Effizienzgewinn genau dann gegeben, wenn die Prognosen seitens „AirMagic“ ein realitätsnäheres Verkehrsbild aufzeigen als die zugehörigen Vorhersagen von CHMI. Im Anschluss wurden diese Vergleichsdaten auf entsprechende Signifikanz überprüft, um somit das Erreichen einer mindestens gleichwertigen Güte der Vorhersagen durch „AirMagic“ aufzuzeigen. Aufgrund der momentanen verkehrsbezogenen Ausnahmesituation – bedingt durch die COVID-19-Pandemie – umfassten die Analysedaten den zurückliegenden Zeithorizont von Mai bis einschließlich Oktober 2019.

Das Komplexitätstool „AirMagic“ besitzt eine integrierte Funktion, welche für jeden Prognosezeitraum (= Vorausschau auf die kommenden fünf Stunden) eine tabellarische Zusammenfassung relevanter Statistiken sowohl von sich selbst als auch von CHMI bereitstellt. Diese automatisierte Datenaufzeichnung werden als Textdateien in Form sogenannter LogAnalysis Snapshots bereitgestellt. Die hierbei erfassten Informationen repräsentieren eine Summenbildung für alle im Vorhersagezeitraum verzeichneten Luftfahrzeuge auf Sektorebene. Eine Auflistung separater Einzelereignisse zugunsten einer tiefergehenden Betrachtung ist nicht realisierbar. Die durchgeführte Vergleichsauswertung konzentrierte sich vorwiegend auf zwei Aspekte: Im Fokus stand einerseits die Anzahl der korrekt prognostizierten Sektoren, durch welche die tatsächlich geflogene Trajektorie verlief. Des Weiteren lag die Aufmerksamkeit auf der Genauigkeit der jeweiligen Einflugzeitpunkte in diesen einzelnen Sektoren. Der hierbei angewandte Berechnungs- bzw. Bewertungsmaßstab dieser als CountScore und TimeScore bezeichneten Metriken wird nachfolgend kurzgefasst erläutert. Die in diesem Zusammenhang dargelegten Konkretisierungen orientieren sich an der Darstellung nach Paul et al. ([7]).

Der CountScore stellt eine Metrik für die Genauigkeit der Prognosen in Bezug auf die tatsächlich durchflogenen Sektoren eines einzelnen Luftfahrzeugs dar. Neben zusätzlichen Werten wird unter anderem die Summe aller CountScores eines Sektors in den LogAnalysis Snapshots gespeichert. Diese Informationen fanden bei der durchgeführten Analyse entsprechend Verwendung. Grundlegend kommen als Ergebnis des Vergleichs zwischen einer Prognose und der konkreten Flugbewegung die in Tabelle 1 aufgezeigten drei Möglichkeiten in Betracht.

Tabelle 1: Erläuterung des sektorbezogenen CountScores (Darstellung angelehnt an [7]).

Format	Verwendung
+1	Dies bedeutet eine Übereinstimmung zwischen der Prognose seitens „AirMagic“ und dem tatsächlich zurückgelegten Flugweg sowie eine gleichzeitige Differenz zur Vorhersage von CHMI. Hierbei wird sowohl ein korrekter Einflug in einen Sektor als auch ein korrekter Nichteinflug, welcher jedoch von CHMI prognostiziert wurde, bewertet.
±0	Bei den Vorhersagewerten von „AirMagic“ und CHMI herrscht Konformität. Entweder stimmt die Prognose bei beiden Systemen mit einem tatsächlichen Sektoreintritt überein oder beide Systeme liegen fälschlicherweise nicht richtig.

-1	In diesem Fall entspricht die Prognose von „AirMagic“ nicht der Realität, wohingegen der tatsächlich zurückgelegte Flugweg mit der von CHMI getätigten Vorhersage übereinstimmt.
----	--

Der TimeScore stellt eine Aussage bezogen auf die Genauigkeit der Einflugszeit eines Luftfahrzeugs in einen Sektor dar. Unter anderem wird die Summe aller TimeScores der innerhalb eines Sektors aufgetretenen Flüge in den LogAnalysis Snapshots gespeichert. Für die Bestimmung eines einzelnen TimeScores wird für jedes Luftfahrzeug (F) ein Vergleich zwischen der tatsächlichen Einflugzeit (REF) sowie den von CHMI (EFD) beziehungsweise „AirMagic“ (AM) prognostizierten Einflugzeiten in einen Sektor (AS) durchgeführt. Die Differenz der absoluten zeitlichen Abweichungen spiegelt den konkreten TimeScore wider. Ein positiver Wert zeugt von einer exakteren „AirMagic“-Prognose, wohingegen ein negativer Wert entsprechend eine höhere Präzision seitens CHMI aufzeigt. Diesen Sachverhalt beschreibt nachfolgend aufgeführte Gleichung. Die Bildung des TimeScores berücksichtigt ausschließlich derjenigen Luftfahrzeuge, für welche die Berechnung einer Trajektorie in beiden Vorhersagesystemen möglich war und gleichzeitig eine Referenz-Trajektorie vorliegt. Andernfalls ist eine konkrete Aussage in Bezug auf die Genauigkeit beider Prognosen aufgrund mangelnder Vergleichsmöglichkeit nicht gegeben.

$$TimeScore(F, AS) = |Einflugzeit(REF, F, AS) - Einflugzeit(EFD, F, AS)| - |Einflugzeit(REF, F, AS) - Einflugzeit(AM, F, AS)|$$

### Auswahl der zu untersuchenden Sektoren

Von besonderem Interesse für die Analyse waren diejenigen Sektoren, welche sich aufgrund einer hohen Auslastung fortwährend an ihrer Kapazitätsgrenze bewegten. Infolge der resultierenden Verkehrsdichte und der somit steigenden Verkehrskomplexität erschien hier ein Auftreten etwaiger Unterschiede zwischen den Prognosewerten von CHMI und „AirMagic“ am wahrscheinlichsten.

Als für die Auswertung relevant wurden daher die folgenden sechs Sektoren der FIR EDMM identifiziert:

- Combined North (CN2 = NDG + WLD)
- Combined South (CS2 = TEG + TRU)
- Füssen (FUE)
- Halle/Gera (HAG)
- Hof/Bamberg (HOB)
- Roding/Eggenfelden (RDEG)



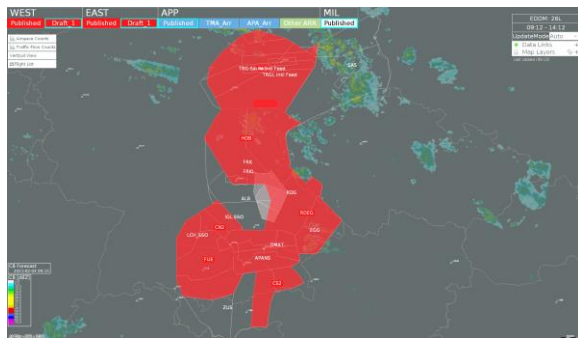


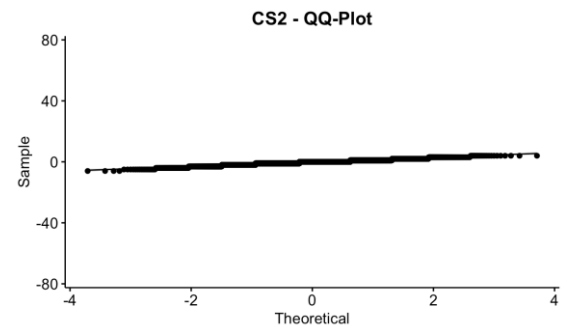
Abb. 5: Übersicht der als relevant identifizierten Sektoren (rote Flächen).

Abb. 5 zeigt die geografische Lage dieser ausgewählten Sektoren auf. Es handelt es sich ausnahmslos um Lufträume, die aufgrund internationaler Verkehrsflughäfen wie beispielsweise Leipzig, München, Nürnberg und Stuttgart erheblich frequentiert sind. Das vorhandene Passagier- und Frachtaufkommen führt zu einer ausgeprägten Verkehrsauslastung, welche einen entsprechend hohen Anteil an Vertikalbewegungen aufweist. Zugleich tragen unterschiedliche Steig- und Sinkprofile einzelner Luftfahrzeuge zu einer erheblichen Komplexitätssteigerung innerhalb der genannten Sektoren bei. Überdies sorgen umliegende Regionalflughäfen für eine zusätzliche Erhöhung der ohnehin bestehenden Verkehrskomplexität.

### Analyse und Ergebnis

Zur Aufbereitung der Rohdaten aus den LogAnalysis Snapshots und der anschließenden Auswertung wurde die Software „RStudio“ eingesetzt. Die Überprüfung der Nullhypothese „AirMagic liefert keine besseren Prognosen“ – entsprechend die Alternativhypothese „AirMagic liefert bessere Prognosen“ – wurde mittels eines t-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein auf Mittelwerten basierendes statistisches Verfahren zur Überprüfung formulierter Annahmen. Sowohl die Daten zur Berechnung des CountScores als auch des TimeScores erfüllten die erforderlichen Voraussetzungen zur Durchführung. Die Detailbetrachtungen der einzelnen Sektoren (siehe Abb. 6 und Abb. 7) umfassten zunächst deskriptive Kennzahlen in tabellarischer Form, um die jeweiligen Stichproben zu charakterisieren. Zudem wurde die auf Basis des zentralen Grenzwertsatzes begründete Normalverteilung der untersuchten Variablen anhand eines sogenannten QQ-Diagramms respektive eines Histogramms grafisch aufgezeigt.

n	mean	sd	median	min	max	range	skew	kurtosis	se
4811	-0.29	1.45	0	-6	4	10	-0.18	0.58	0.02

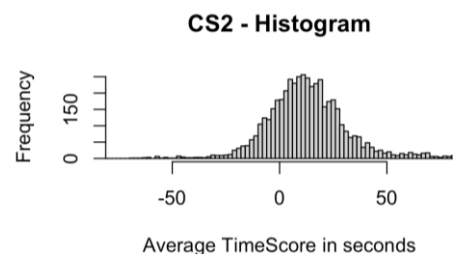


One Sample t-test

```
data: df$Total_CountScore
t = -13.962, df = 4810, p-value = 1
alternative hypothesis: true mean is greater than 0
95 percent confidence interval:
-0.3264512      Inf
sample estimates:
mean of x
-0.2920391
```

Abb. 6: Exemplarische CountScore-Analyse am Beispiel des CS2-Sektors.

n	mean	sd	median	min	max	range	skew	kurtosis	se
4811	13.92	23.67	12	-321	143	464	-1.46	30.19	0.34



One Sample t-test

```
data: df$Average_TimeScore_secs
t = 40.801, df = 4810, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true mean is greater than 0
95 percent confidence interval:
13.36049      Inf
sample estimates:
mean of x
13.92185
```

Abb. 7: Exemplarische TimeScore-Analyse am Beispiel des CS2-Sektors.

Um eine zusätzliche Perspektive auf die Analysedaten zu erhalten, wurden im Anschluss sowohl die CountScores als auch die TimeScores in Form eines abstrahierenden Dichte-Diagramms dargestellt (siehe Abb. 8 und Abb. 9). Die deutlich schwarz gefärbten Bereiche spiegeln besonders häufig aufgetretene Wertebereiche wider.

Ergänzend gibt die in Rot eingezeichnete Ellipse den Bereich an, in den mit 95%iger Wahrscheinlichkeit ein zusätzlicher Wert fallen würde. Analog zu den Ergebnissen der zuvor durchgeführten t-Tests zeigte sich, dass die Datenpunkte des CountScores überwiegend im Bereich des Nullpunkts lagen. Bei den Datenpunkten des TimeScores hingegen war eine tendenziell positive Ausrichtung erkennbar, gleichbedeutend mit einer leichten Rechts-Verschiebung der aggregierten „Datenwolken“ auf der Abszisse.

Die resümierenden Auswertungen des CountScores ergaben keinerlei Unterschiede bei den Vorhersagen hinsichtlich der während eines Fluges involvierten Sektoren. Demnach prognostizieren beide ATFCM-Systeme sehr ähnliche Flugverläufe. Eine plausible Erklärung findet sich in der Tatsache, dass sowohl CHMI als auch „AirMagic“ dieselben Grunddaten für diese Art der Berechnung nutzen.

Im Unterschied hierzu wies der TimeScore ein divergentes Ergebnis auf. Bei fünf der insgesamt sechs untersuchten Sektoren lagen die zeitpunktbezogenen (Verkehrs-)Prognosen von „AirMagic“ näher an der Realität als jene von CHMI. Die erzielte Genauigkeit steigerte sich in Abhängigkeit des jeweiligen Sektors um durchschnittlich 6,71 bis 13,92 Sekunden pro Luftfahrzeug. Eine augenfällige Erklärung hierfür stellt die unter „AirMagic“ deutlich erweiterte Datenbasis – bspw. die Abbildung von SID/STARs und die Berücksichtigung der „Runway in Use“-Informationen – sowie eine damit einhergehende Anpassung des zugrundeliegenden Berechnungsalgorithmus dar.

Die etwaige Relevanz solcher im ersten Moment gering erscheinenden Zahlenwerte sei exemplarisch anhand des folgenden Beispiels erläutert: Ausgangsgrundlage ist ein Sektor mit einem CDV von 35 Luftfahrzeugen pro Stunde. Bei einer durchschnittlichen Verbesserung von ca. sieben Sekunden pro Luftfahrzeug ergibt dies eine Genauigkeitssteigerung von insgesamt 245 Sekunden oder knapp vier Minuten. Da die einzelnen Luftfahrzeuge in direkter Beziehung zueinanderstehen, kann folglich eine drastische Änderung des Verkehrsbildes entstehen. Zu bedenken ist zudem, dass während eines Flugverlaufs eine Vielzahl an Sektoren durchflogen wird. Dies wiederum bedeutet, die Prognose des Einflugzeitpunktes für den übernächsten Sektor ist bereits um zwei mal sieben Sekunden und somit 14 Sekunden genauer, usw. Diese Zahlenbeispiele sollen das wesentliche Potenzial aufzeigen, welches mit einer Verbesserung des TimeScores einhergeht.

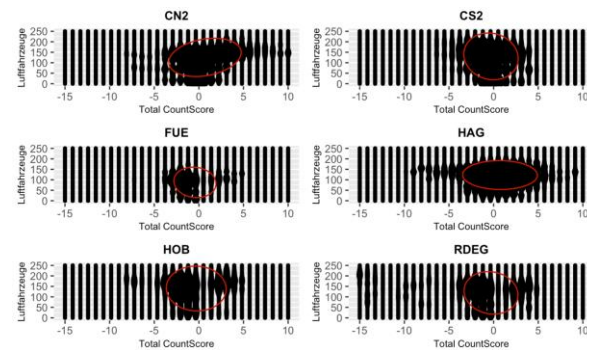


Abb. 8: Sektorbezogene Übersicht aller CountScores.

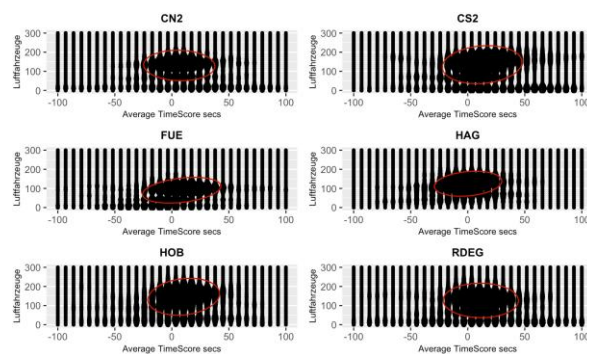


Abb. 9: Sektorbezogene Übersicht aller TimeScores.

## Anpassung bisheriger Arbeitsweisen

Die nächste Fragestellung beschäftigte sich mit etwaigen Anpassungen der bisherigen Arbeitsweisen im taktischen Kontext, die aus der Nutzung von „AirMagic“ resultieren. Zugleich sollte eine valide Einschätzung in Bezug auf die tatsächliche Inanspruchnahme der erweiterten Anzeigewerte von „AirMagic“ erfolgen, respektive in welchem Maße diese vollzogen wird. Hierzu wurde mithilfe der Anwendung „Microsoft Forms“ eine Online-Umfrage konzipiert. Zum Einsatz kamen gezielt quantitative, d.h. geschlossene Fragestellungen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten in Form einer Ratingskala (sechsstufige Likert-Skala). Ergänzend wurden qualitative Fragestellungen, sprich offene Fragen, verwendet.

Zusammengefasst entstanden vier Themenschwerpunkte mit insgesamt 14 inhaltlichen Fragestellungen, deren durchschnittliche Bearbeitungsdauer 10 bis 15 Minuten betrug:

1. Bisherige Nutzungserfahrung
2. Auswirkungen auf Arbeitsprozesse
3. Mögliche Vorteile
4. Demographische Daten

Die adressierte Zielgruppe setzte sich aus den Endnutzern des Systems an der Center-Niederlassung München, sprich allen Supervisors sowie allen Flugdatenbearbeiter (FDB) in der Rolle des „Flow Management Planner (FMP)“, zusammen. Von dieser für die Umfrage in Betracht kommenden Grundgesamtheit von 41 Personen nahmen 22 an der Untersuchung teil (von den 23 Supervisors vierzehn und von den 18 FMP acht). Die Erzielung einer entsprechenden Repräsentativität durch Vollerhebung war im Kontext des vorliegenden Erkenntnisinteresses nicht erforderlich.

Die in „Microsoft Forms“ integrierte Export-Funktion ermöglichte eine Übertragung der Antwortdaten in das Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel“, um damit eine grafische Datenanalyse durchzuführen. Die Auswertung der einzelnen Fragestellungen erfolgte deskriptiv mithilfe unterstützender Diagramme, anhand derer die jeweils gruppenspezifischen Antworttendenzen der Zielgruppe ersichtlich sind. Eine solche Beispielauswertung zeigt Abb. 10.

bisherige Informationsfluss, dessen Initiierung meist unidirektional seitens der FMPs ausging, ergänzt. Durch eine aktive Nutzung der Sektoranalyse („What If-Analyzer) profitieren die Supervisors zudem bei der Durchführung der taktischen Personalplanung. Die der Online-Umfrage zu entnehmenden Antworten der FMPs bezüglich der Auswirkungen auf Arbeitsprozesse wiesen hingegen ein neutraleres Bild auf. Dies ist vorwiegend der Tatsache geschuldet, dass „AirMagic“ – abgesehen von optional zu nutzenden Zusatzfunktionalitäten, welche CHMI nicht bietet – aus ihrer Sicht zu keiner Änderung des bisherigen „Flow Management“-Prozesses führt. Vielmehr bietet sich „AirMagic“ in der momentanen Konstellation als ein Werkzeug für die zusätzliche Verifizierung der Vorhersagewerte von CHMI an. Dennoch werden mit „AirMagic“ ergänzende Vorzüge assoziiert – bspw. die sofortige farbliche Aktualisierung der visuellen Sektor-Darstellung –, sodass auch bei der Nutzergruppe „FMP“ eine grundlegend positive Tendenz ersichtlich war.

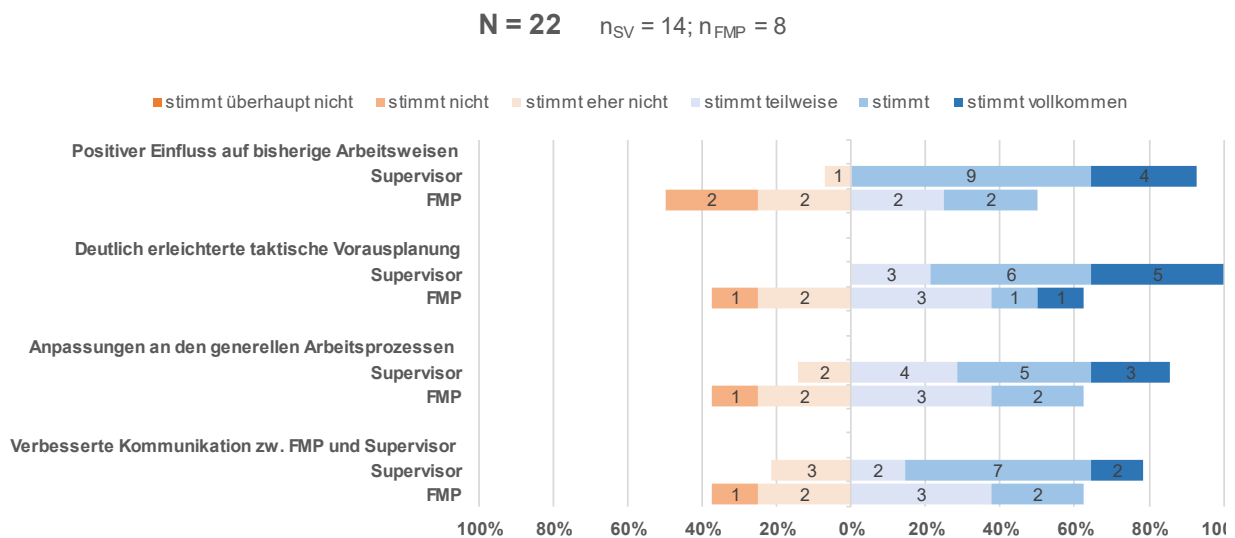


Abb. 10: Exemplarische Auswertung nach Nutzergruppen.

Mit Blick auf die Antworten - insbesondere des Themenschwerpunktes „Auswirkungen auf Arbeitsprozesse“ zeigte sich bei den einzelnen Fragestellungen eine zumeist stärkere Zustimmung seitens der Nutzergruppe „Supervisor“. Mit der unmittelbaren Integration von „AirMagic“ im eigenen Arbeitsumfeld erhalten die Supervisors erstmals die Option, sich ein Bild über die zu erwartende Verkehrssituation einzuholen. Damit findet eine Verlagerung des bis dato den FMPs obliegenden Monitoring-Aspekts statt, der nun zunehmend in kollaborativer Abstimmung zwischen beiden Nutzergruppen erfolgt. Folglich wird der

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Verwendung von „AirMagic“ die bisherigen Arbeitsweisen im taktischen FVK-Kontext auf Grundlage zahlreicher „Vereinfachungen“ maßgeblich unterstützt. Der innovative Funktionsumfang in Kombination mit den deutlich erweiterten Eingangsdaten führt zu einer gemeinschaftlichen Diskussions- und Entscheidungsgrundlage zwischen den beiden Anwendergruppen „Supervisor“ und „FMP“. Dies wiederum sorgt für eine übereinstimmende Verbesserung der gemeinsamen Zusammenarbeit.

### Identifikation zusätzlicher Anwendungsfälle

Die dritte Fragestellung verfolgte das Ziel der Identifikation weiterer Anwendungsfälle im operativen Flugsicherungsumfeld, welche sich auf Grundlage der Nutzung von „AirMagic“ ergeben. Hierzu fand eine qualitative Befragung mittels Experteninterviews statt, um möglichst detaillierte inhaltliche Auskünfte zu einem bestimmten Themenkomplex zu erhalten.

Primär diente das Experteninterview einer qualitativen Vertiefung bestimmter Teilergebnisse, welche aus der Online-Umfrage resultierten (Stichwort „Zwei-Phasen-Design“). In diesem Zusammenhang wurden die folgenden drei Themenkomplexe diskutiert:

1. Persönliche Einstellung und Sichtweise
2. Vertiefende Fragestellungen
3. Zukunftsorientierte Gedanken

Als Expertengruppe eigneten sich all diejenigen Nutzer, welche beispielsweise aufgrund von Projektarbeit zur Inbetriebnahme von „AirMagic“ bereits einen äußerst intensiven Umgang mit dem System vorweisen konnten. Für die konkrete Informationserhebung im Rahmen dieser Ausarbeitung wurden insgesamt sieben Mitarbeiter (3 Supervisors, 3 FMPs, 1 Mitarbeiter des zentralen Produktmanagements) befragt. Die sich an das Interview anschließende Transkription und qualitative Ergebnisauswertung endete mit einer eindeutigen Kategorisierung der einzelnen Aussagen. Als eine standardisierte Methode hierfür wurde die strukturierte Inhaltsanalyse nach Kuckartz ([10]), basierend auf dem von Mayring ([11]) entwickelten Ansatz, angewandt. Zur Durchführung der Verschriftlichung und Analyse wurden die beiden Anwendungsprogramme „f4analyse“ und „f4transkript“ (siehe [12]) eingesetzt.

Die Analyse der Experteninterviews bestätigte die affirmative Grundhaltung gegenüber „AirMagic“. Unter Berücksichtigung aller erzielten Erkenntnisse wurde der Anwendung zugleich das Potenzial für eine kontinuierliche Optimierung des ATFCM attestiert. Als Voraussetzung für einen im Vergleich zu CHMI mindestens gleichrangigen Einsatz wurde eine konsequente Realisierung zusätzlicher Funktionalitäten gefordert. Neben der Äußerung vielfältiger Ideen für eine stetige Verbesserung von „AirMagic“ nannten die Teilnehmer jedoch auch kritische Aspekte. Diese umfassten u.a. die bisherige DFS-interne System-einstufung, eine fehlende bidirektionale Anbindung an das NMOC und fehlende Eingabemöglichkeiten für beispielsweise operative Regulierungen. Die Ideen für erweiterte Anwendungsfälle reichten von einer simplen Ausweitung des flexiblen Personaleinsatzes im

generellen Umfeld der DFS bis hin zu einer grundlegenden Änderung der etablierten Arbeitsweisen der Fluglotsinnen und -lotsen.

### Fazit

Die Annahmen der untersuchten Fragestellungen wurden durch die verschiedenen Datenanalysen bestätigt. Als zentrales Ergebnis weist „AirMagic“ das Potenzial für eine kontinuierliche Optimierung des „Flow Management“-Prozesses auf. Zudem bietet die Anwendung eine komplementierende Unterstützung für die taktischen Personalplanung. In der Konsequenz neuer Anwendungsfälle zeichnen sich darüber hinaus perspektivisch alternative Ansätze für den operativen Flugsicherungsbetrieb ab.

Auf Grundlage eines numerischen Vergleichs mit dem bisherigen System CHMI wurde eine statistisch signifikante Verbesserung der zeitpunktbezogenen (Verkehrs-)Prognosen von „AirMagic“ nachgewiesen. Die Durchführung einer Online-Befragung unter den Nutzenden zeigte zudem eine grundlegend positive Einstellung gegenüber dem Planungstool „AirMagic“ auf. Anhand der Umfrageergebnisse lässt sich dies dem Mehrwert der innovativen Funktionalitäten – wie bspw. der „Workload“-Anzeige und dem „What If“-Probing – zuweisen. Gleichzeitig wiesen die Antworten bestätigend darauf hin, dass sich im Kontext des „Flow Management“-Prozesses tendenziell vorteilhafte Auswirkungen auf die Arbeitsweisen der betroffenen Nutzergruppen ergeben. Im Anschluss hieran wurde eine weitere, vertiefende empirische Untersuchung in Form eines Experteninterviews mit insgesamt sieben Probanden durchgeführt. Entsprechend den Antworten der Online-Umfrage konnte dabei ebenfalls eine affirmative Grundhaltung gegenüber „AirMagic“ beobachtet werden. Neben der Äußerung vielfältiger Ideen für eine stetige Verbesserung der Anwendung werden jedoch auch kritische Aspekte genannt.

In der Gesamtheit leistet das Komplexitätstool „AirMagic“ einen Beitrag für das effiziente Verkehrsfluss- und Kapazitätsmanagement im Flugverkehr – gleichbedeutend mit einer gesteigerten Performanz der angebotenen Flugsicherungsdienstleistung. Dies führt zu einer generellen Verbesserung der Pünktlichkeit im Luftverkehr. Zur weiteren Stärkung der erzielten Ergebnisse ist eine konsequente Realisierung der aus dem Kreis der Nutzenden aufgezeigten Vorschläge bezüglich komplementärer Funktionalitäten erforderlich. Langfristig betrachtet kann die stetige Weiterentwicklung der Software zu einer Verringerung der derzeitigen Vielfalt an „Flow Management“-Tools führen.



## Ausblick

Die vorliegende Untersuchung hat weiterführende Erkenntnisse in Bezug auf das Planungstool „AirMagic“ geliefert. Eine lohnende Aufgabe für die nahe Zukunft stellt die Konkretisierung der Auswertungen rund um den TimeScore basierend auf einer erweiterten Datengrundlage dar. Von Bedeutung in diesem Zusammenhang ist die Auflösung der vorliegenden Datenaggregation in den LogAnalysis Snapshots. Dies könnte zu einer Detaillierung der festgestellten statistischen Signifikanzen führen, welche eine durchschnittliche Verbesserung der zeitpunktbezogenen (Verkehrs-)Prognosen nahelegen. Darüber hinaus verstehen sich die vorgestellten Ergebnisse als eine solide Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen von „AirMagic“. Insbesondere die von den operativen Nutzerinnen und Nutzern erhaltenen Rückmeldungen stellen wertvolle Empfehlungen in Bezug auf die Realisierung ergänzender Funktionalitäten dar. Eine fortschreitende Integration dieser geäußerten Ideen würde die vorherrschende Akzeptanz gegenüber dem System nochmals deutlich stärken. Zugleich könnte sich, ausgehend von solch resultierenden Aufwertungen, die Bedeutsamkeit für den operativen Flugsicherungsbetrieb von CHMI in Richtung „AirMagic“ verschieben. Dies wiederum wäre eine der erforderlichen Grundvoraussetzungen für die etwaige Ablösung des bisherigen ATFCM-Tools CHMI.

Ausgehend von den im Kontext dieser Untersuchung erzielten Erkenntnisse können ad hoc die folgenden Umsetzungsempfehlungen ausgesprochen werden:

1. Realisierung einer bidirektionalen B2B-Schnittstelle zu NMOC, bspw. für eine direkte Eingabe von Regulierungen
2. Umsetzung einer direkten EFD-Anbindung über NMOC (Redundanzgründe)
3. Erhöhung der Monitoranzahl für die Rolle „FMP“

Weiteres Potenzial liegt einer tiefergehenden Untersuchung des aus subjektiver Sicht der Anwender deutlich hervorgehobenen Nutzens der von „AirMagic“ bereitgestellten Workload-Anzeige zugrunde. Für eine diesbezüglich valide Aussage ist eine durchgehende Dokumentation aller Entscheidungen, welche zu einer Durchführung oder Nichtdurchführung von Regulierungsmaßnahmen geführt haben, erforderlich. Ausgehend hiervon lassen sich konkrete Rückschlüsse hinsichtlich eines denkbaren Zusammenhangs mit der Verwendung von „AirMagic“ ziehen.

Eine Realisierung der häufig genannten Archiv-/„Post-OPS“-Funktion würde insbesondere für die strategische und prä-taktische ATFCM-Phase eine deutliche Unter-

stützung leisten. Denkbar wäre beispielsweise die Integration eines Szenariensimulators, mit dessen Hilfe zurückliegende Erfahrungswerte für vergleichbare oder wiederkehrende Verkehrssituationen direkt in die zukünftige Planungsgrundlage einfließen könnten. Methoden des maschinellen Lernens könnten überdies eine Detektion regelmäßiger Muster in den Verkehrsströmen unterstützen und zugleich hierfür geeignete Lösungsmöglichkeiten generieren. Für die darauf folgende taktische Phase wäre eine Ausweitung des bisherigen Planungshorizonts vorteilhaft, um einen längerfristigen Ausblick auf das voraussichtliche Verkehrsgeschehen zu erhalten.

Nach Auswertung der Experteninterviews ist es überdies überlegenswert, „AirMagic“ auch für Fluglotsinnen und -lotsen verfügbar zu machen. Damit könnten insbesondere die Lotsen in der Rolle „Planner“ vom neuartigen Funktionsumfang – speziell den Vorhersagen – profitieren und ggf. ihre prä-taktische Verkehrsplanung und FVK anpassen. Dies könnte zu einer Entlastung der FDBs/Supervisors beitragen. Für eine Untersuchung der tatsächlich resultierenden Konsequenzen bietet sich die Durchführung eines Machbarkeitsnachweises in Form von Feldstudien an.

Neben dem Verbesserungspotenzial, welches aus der direkten Anwendung sowie des Einsatzgebiets von „AirMagic“ hervorgeht, ist zudem die Untersuchung für eine zusätzliche Ergänzung der bereits umfassenden Datenquellen vorstellbar. Hiermit geht die Erwartungshaltung einer fortschreitenden Systemoptimierung bezüglich der Präzisierung der (Verkehrs-)Prognosen einher. Ein geeignetes Beispiel hierfür wäre gegebenenfalls die Übernahme der durch den Arrival Manager bereitgestellten Informationen.

Abschließend sei darauf verwiesen, dass die Nutzung von „AirMagic“ – neben der in dieser Ausarbeitung im Fokus stehenden Effizienz des operativen Flugsicherungsbetriebs – zusätzlich vorteilhafte Konsequenzen für den Bereich Safety birgt. Evidente Hinweise diesbezüglich offenbaren sich in den Umfrageergebnissen.

## Abkürzungsverzeichnis

ATFM	Air Traffic Flow Management
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
ATM	Air Traffic Management
CDV	Capacity Default Value
CHMI	Collaborative Human Machine Interface
DVO	Durchführungsverordnung
EFD	ETFMS Flight Data
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System
FDB	Flugdatenbearbeiter
FIR	Flight Information Region
FMP	Flow Management Planner
FVK	Flugverkehrskontrolldienst
LIZ	Lage- und Informationszentrum
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
NMOC	Network Manager Operations Centre
SID	Standard Instrument Departure Route
STAR	Standard Arrival Route
SURNET	European Surveillance Network

2014 über die Einrichtung des gemeinsamen Pilotvorhabens für die Unterstützung der Durchführung des europäischen Masterplans für das Flugverkehrsmanagement. Aufgerufen am: 28.08.2021. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0716>.

- [4] FAB Europe Central (2020). Performance Plan. Aufgerufen am: 28.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.fabec.eu/performance/performance-plan>.
- [5] Paul, B., Buch, T. & Gehres, A. (2017). Bericht Probetrieb AirMagic Niederlassung München. Februar-Juni 2017. Version 0.4 vom 04.08.2017. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- [6] DFS (2021). Funktionale Beschreibung (bis Release V5b). Version 1.2 vom 04.03.2021. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- [7] Kuckartz, U. (2014). Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren, Wiesbaden: Springer VS.
- [8] Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung, 4. Aufl., Weinheim: Beltz Juventa.
- [9] Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken, 12. Aufl., Weinheim: Beltz.
- [10] dr. dresing & pehl GmbH (2020). Transkription & Analyse - Die f4 Familie macht's leichter. Aufgerufen am: 28.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.audiotranskription.de/>.

## Referenzen

- [1] DFS (2020). Luftverkehr in Deutschland, Mobilitätsbericht 2019. Aufgerufen am 28.08.2021. Verfügbar unter: [https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Presse/Publikationen/Mobilitaetsbericht2019\\_Web.pdf](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/Mobilitaetsbericht2019_Web.pdf).
- [2] EUROCONTROL (2020). All-causes delay and cancellations to air transport in Europe for 2019, CODA Digest. Aufgerufen am: 28.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.eurocontrol.int/publication/all-causes-delay-and-cancellations-air-transport-europe-2019>.
- [3] Europäische Union (2014). DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 716/2014 DER KOMMISSION vom 27. Juni

## Konstruktive Optimierung für die Entwicklung neuer Tower-Konsolen

Alexander Lozano Bauer

### Einleitung

Die Abteilung Tischentwicklung und Fertigung der DFS ist für die Tisch- und Konsolenentwicklung, deren hausinterner Fertigung und für die Instandhaltung über die komplette Lebensdauer zuständig. Gegenwärtig werden in der DFS bundesweit etwa 900 betriebliche bzw. betriebsnahe Arbeitstische und Konsolen betreut. Im Centerbereich, wo die Flugverkehrskontrolle für den unteren und oberen Luftraum durchgeführt wird, sind es ca. 600 Konsolen. In der DFS-Akademie, dem Ausbildungsbetrieb für Fluglotsen, sind es ca. 200 Konsolen und im Towerbereich etwa 100 Konsolen.

Die Arbeitsplätze der Towerlotsen verändern sich durch die Modernisierung der elektronischen Komponenten kontinuierlich. Im Zuge dessen sollen nun auch konstruktive Verbesserungen an den Tower-Konsolen realisiert werden, die Probleme im laufenden Betrieb bei der Instandhaltung und beim Umrüsten der Konsolen beseitigen sollen. Eine Hauptaufgabe war es, eine Neukonzeption für die Befestigung der Komponenten im Baugruppenträger (BGT) zu entwickeln, die Service, Wartung und Anpassung im laufenden Betrieb vereinfacht.

Die hier beschriebene konstruktive Optimierung wurde als Projektarbeit im Rahmen einer Weiterbildung zum staatlich geprüften Techniker entwickelt.

### Problemstellung

Bisher ist die Montage der Einbaukomponenten in die Bedien- und Arbeitsebene der Tower-Konsolen mit einem großen Zeitaufwand verbunden. Die momentan in der DFS verbauten BGT sind so konzipiert, dass die Komponenten an ihrem vorgesehenen Einbauplatz auf zwei Fischerprofilen positioniert werden. Die Profile werden vor dem Zusammenbau des BGTs händisch mit Vierkantmuttern der Größe M2,5 bestückt. Die Vierkantmuttern werden mit den Bohrungen der Komponenten ausgerichtet und anschließend mit Linsensenkschrauben verschraubt (Abbildung 1). Die Breite des Einbauraums für Komponenten wird nach *DIN EN 60297-3-100* [3] in Teileinheiten (TE) angegeben. Ein TE ist 5,08 mm breit. Je nach Breite der Komponente wird zur Befestigung mindestens eine Bohrung pro Auflagefläche benötigt. Ab einer Breite von 5 TE sind

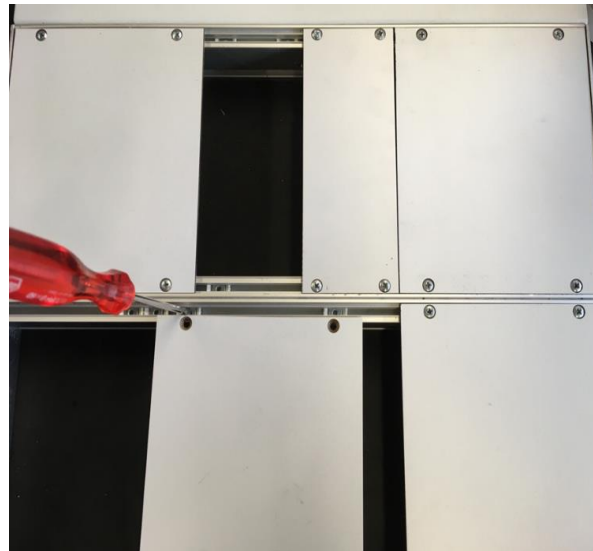


Abbildung 1: Montage Einbaukomponenten, Ausrichten der Vierkantmuttern.

zwei oder mehr Bohrungen pro Auflagefläche zu fertigen.

Das Nachrüsten von fehlenden oder beschädigten Vierkantmuttern ist mit der aktuellen Befestigungsart sehr umständlich. Der BGT muss dafür ausgebaut und teilweise demontiert werden, um die Vierkantmuttern nachzuführen (Abbildung 2). Es kommt häufig vor, dass durch die Benutzung eines Akkuschraubers oder eines Kreuzschlitzschraubendrehers falscher Größe, die Schraubenköpfe beschädigt werden. Die beschädigten Schrauben müssen dann ausgebohrt werden und die Vierkantmuttern ersetzt werden. Das ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden und muss je nach Arbeitsplatz mit dem zuständigen Supervisor vor Ort abgestimmt werden.

Pro Tower-Konsole sind im Schnitt zwei BGT verbaut. Da die BGT auf die Anforderungen des Kunden angepasst werden, ist es durchaus üblich, dass in einem BGT ca. sechs Komponenten verbaut sind. Somit sind mindestens 24 Schraubverbindungen vorhanden. Für den Versuch wurde ein 3-Höheneinheiten-(HE)BGT verwendet. Die Höhe des Einbauraums für Komponenten wird nach *DIN EN 20297-3-100* [3] in HE angegeben. Eine HE ist 44,45 mm hoch. Eine durchgeführte Zeitermittlung ergab für die 3HE BGT-Variante einen Zeitaufwand von 270 Sekunden für eine komplette

Neubestückung. Somit ergibt sich ein Zeitaufwand von etwa 45 Sekunden pro Komponente oder 11,25 Sekunden pro Verschraubung.

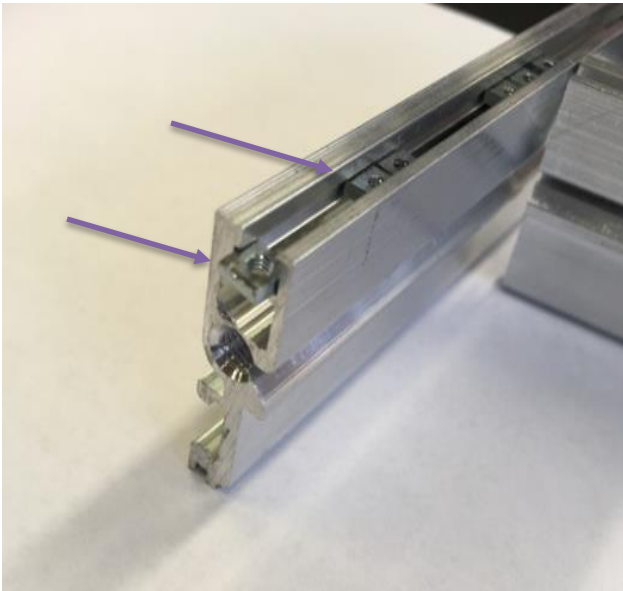


Abbildung 2: Fischerprofil beim händischen Bestücken mit Vierkanmuttern.



Abbildung 3: Beispiel eines aktuell verbauten Baugruppenträgers mit verschraubten Blindplatten in einer Musterkonsole.

### Anforderungen

An die Neukonzeption zur Befestigung der Komponenten im Baugruppenträger, ergaben sich folgende Anforderungen:

1. Eine werkzeuglose Entnahme der Komponenten soll nicht möglich sein.
2. Alle aktuell verbauten Komponenten sind einbaubar.

3. Die Umpositionierung/Entnahme und der Wegfall vorhandener Komponenten ist möglich.
4. Umbau der Einbaufläche für Komponenten von 3HE auf 6HE und umgekehrt möglich.
5. Die Konstruktionslösung sollte eine weitestgehend schraubenfreie Verbindung sein. Die bisherigen Toleranzen sollten weiterhin eingehalten werden.
6. Geringerer Montageaufwand durch schraubenfreie Befestigung der Komponenten im Baugruppenträger.
7. Einbauraum für Baugruppenträger in der Konsole darf nicht größer werden.

### Lösungsansätze

Der bestehende Baugruppenträger wurde analysiert. Nach einer Internetrecherche und eines internen Brainstormings, in Verbindung mit Brainwriting [4], wurden für die Neukonzeption des Komponenteneinbaus drei verfolgbare Lösungsansätze erkannt und einer technischen Bewertung unterzogen.

Bei der technischen Bewertung der drei Lösungsansätze wurden 8 Parameter geprüft und mittels Punktevergabe von 1 Punkt „fast keine Verbesserung“ bis 4 Punkten „große Verbesserung/Pflichtanforderung wurde erfüllt“ bewertet. Die Ideallösung mit 32 Punkten wurde mit dem Gesamtfaktor 1 als Maßstab zu Grunde gelegt. Die Lösungsvariante Schnappverriegelung mit Spannschiene und Federschließer, erreichte bei der technischen Bewertung einen Gesamtfaktor von 0,91; und kommt damit der Ideallösung sehr nah. Durch den sehr geringen Montageaufwand beim Komponententausch, sowie die komplett schraubenfreie Befestigung der Komponenten durch Spannschienen, wurden zwei wichtige Vorgaben umgesetzt. Zusätzlich ist die Entriegelung der Spannschienen nur mit einem selbstentwickelten Werkzeug möglich. Ebenfalls sehr positiv zu bewerten ist die ansprechende Optik des BGTs, da durch den Wegfall der Verschraubungen ein gleichmäßigeres Design erreicht wird.

Als mögliche Einbaufläche für die Schnappverriegelung kam nur der Bereich des Befestigungswinkels des BGT mit der Konsole in Frage.

### Konstruktion

Um die Befestigung der Komponenten im BGT zu gewährleisten, musste vorab eine Berechnung der nötigen Verriegelungskraft der Spannschienen durchgeführt werden. Die Verriegelungskraft der Spannschiene im BGT wird durch mindestens zwei Federschließer pro Spannschiene aufgenommen. Die Spann-



schienen, welche aus Aluminium L-Profilen gefertigt werden, nehmen dann bei der Montage eine Durchbiegungskraft über einen der Schenkel auf. Die Durchbiegungskraft wird durch eine Zurückbiegung von etwa 1,5° aufgenommen, die zuvor bei der Fertigung der Verriegelungsschienen als Überbiegung / Überspitzung des L-Profil Winkels um 2,5° zugeführt wurden.

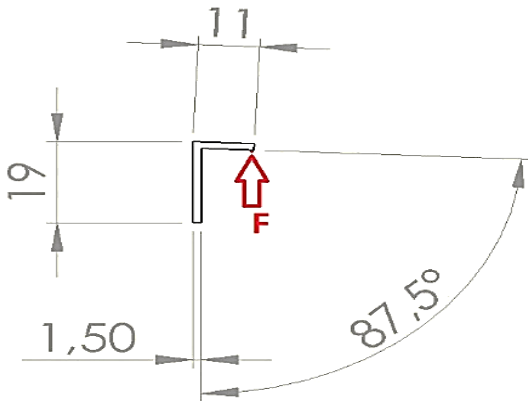


Abbildung 4: Seitenansicht Verriegelungsschiene.

Der in Abbildung 4 gezeigte Ausschnitt einer Fertigungszeichnung des Aluminium L-Profiles mit Kennzeichnung der Verriegelungskraft F, die nach der Montage statisch auf die Profilschiene wirkt. Angenommen wird eine Zurückbiegung in Verriegelungsposition von 1,5° statt 2,5° aufgrund von bei der Montage auftretenden Toleranzen.

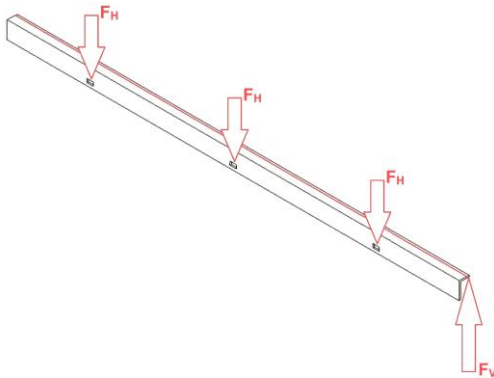


Abbildung 5: Wirkende Kräfte.

Abbildung 5 zeigt die Verriegelungsschiene (mit der Länge L = 492,30 mm) mit Kennzeichnung der auftretenden Verriegelungs- und Haltekräfte (F<sub>V</sub> und F<sub>H</sub>).

Zur Berechnung der Verriegelungskraft mussten im Vorfeld die Variablen für die Durchbiegung, das Trägheitsmoment und das Elastizitäts-Modul ermittelt werden. Diese wurden dann in die unten aufgeführte

Formel eingesetzt und die Verriegelungskraft ermittelt. Es wurde von einer Verriegelung mit drei Feder-schließern ausgegangen.

Profil-Bezeichnungsschlüssel:

E 70.000  $\frac{N}{mm^2}$  Elastizitäts-Modul (Herstellerangabe für das verwendete Aluminiumprofil)

F	[N]	Belastung
f	[mm]	Durchbiegung
L	[mm]	Länge
I	[mm <sup>4</sup> ]	Trägheitsmoment

$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 3 \times 10^4}$$

Gegeben:

L = 492,3 mm                      I = 2,672 mm<sup>4</sup>  
 E = 70.000  $\frac{N}{mm^2}$                       f = 0,33 mm

Gesucht:

F = ? (N)

Berechnung der Kraft:

$$0,33mm = \frac{F \times (492,3 \text{ mm})^3}{70.000 \frac{N}{mm^2} \times 2,672 \text{ mm}^4 \times 3 \times 10^4}$$

$$0,33mm = \frac{F \times (492,3 \text{ mm})^3}{5.611.200.000 \frac{N}{mm^2}} / \times 5.611.200.000 \frac{N}{mm}$$

$$1.851.696.000 \frac{N}{mm^2} = F \times (492,3mm)^3 /: (492,3mm)^3$$

**15,52 N = F**

Berechnung der Masse:

$$\frac{F}{g} = m \qquad \frac{15,52 \text{ N}}{9,81 \frac{m}{s^2}} = \underline{\underline{1,58 \text{ kg}}}$$

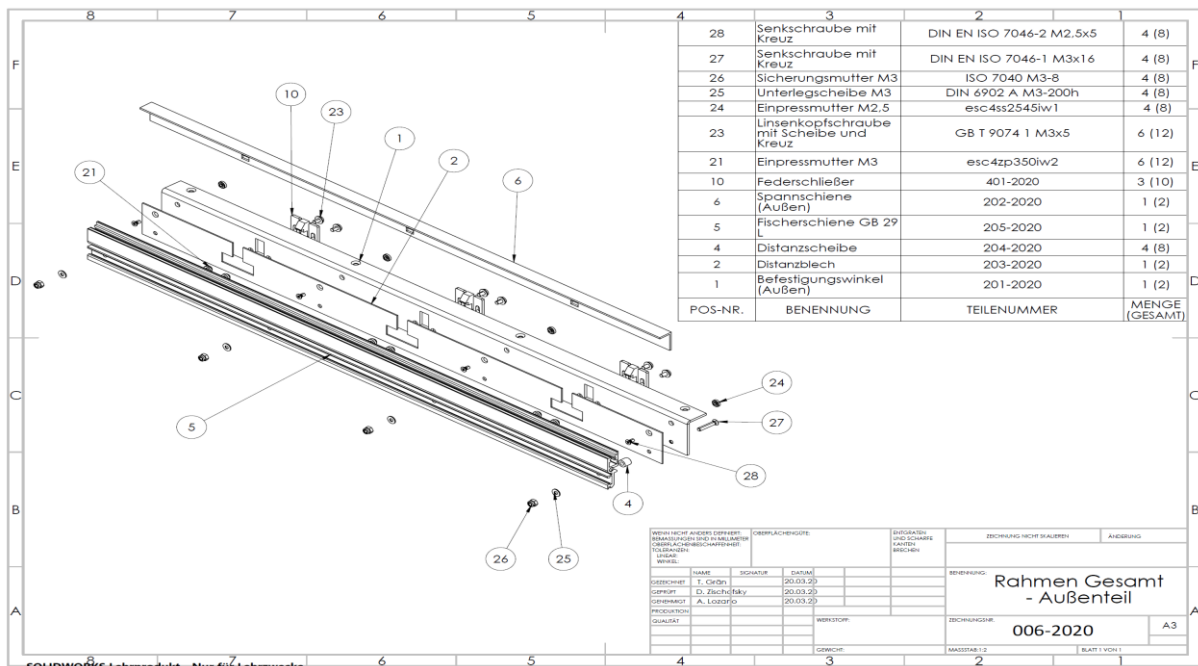


Abbildung 6: Explosionszeichnung Spanneinheit.

Die Verriegelungskraft von 1,58 kg (15,52 N) wird bei der Montage der Spannschiene maximal aufgebracht und muss statisch durch die drei in der Berechnung vorhandenen Federschließer gehalten werden. Daraus ergibt sich eine Belastung von 0,53 kg pro Federschließer.

## Prototyp

An operativ genutzten Arbeitsplätzen und an technischen Arbeitsmöbeln in der DFS, werden zur Aufnahme von technischen Komponenten im 19 Zoll Einbausystem, Lautsprecher, Sprechfunksysteme sowie Notfall- und Backupsysteme in drei verschiedenen Varianten von Baugruppenträgern verbaut.

Zur Montage eines BGT werden zwei Seitenteile und zwei vormontierten Spanneinheiten benötigt. Das Spannsystem wird am Befestigungswinkel aufgebaut, welcher später zur Montage des BGTs in die Konsole genutzt wird. Das Distanzblech mit seinen Aussparungen dient dem Einsetzen des Lösewerkzeugs und ermöglicht so das Entnehmen der Spannschiene. Mit den Distanzscheiben wird das richtige Montagespiel für die Spannschiene eingestellt. Auf der Auflagefläche der *Fischerschiene* werden später die Komponenten aufgelegt und durch das Einsetzen der Spannschiene gespannt. Durch die Haken der Federschließer lässt sich die Spannschiene verriegeln und nur mit einem Spezialwerkzeug wieder entriegeln. Der Federschließer ist eine

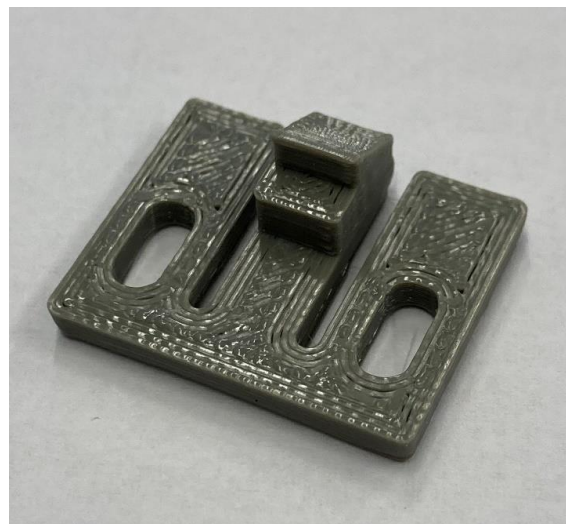


Abbildung 7: Gedruckter Federschließer.

Eigenentwicklung, die im 3D-Druckverfahren in der DFS gedruckt wird (Abbildung 6 und 7).

Als Prototypen wurden ein 6HE (1HE = 44,45mm) und ein 3HE-Baugruppenträger gefertigt (Abbildung 8). Diese Varianten können alle in der DFS gängigen Komponenten aufnehmen. Die Prototypen wurden in Musterkonsolen der DFS eingebaut und getestet. Der 6HE BGT ist für die Aufnahme von größeren Komponenten, wie zum Beispiel Touch Input Displays (TID) geeignet. Die Breite des BGT wird in TE (5,08mm) angegeben und je nach Bestückung den Kundenanforderungen angepasst.

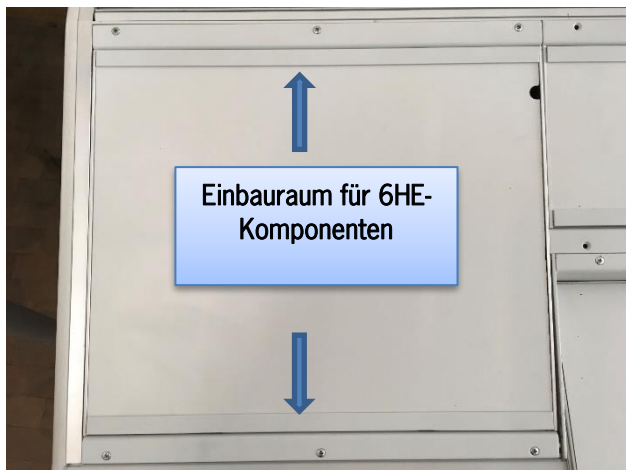


Abbildung 8: 6HE Baugruppenträger mit neuem Spannsystem.

Der 3HE BGT ist vom Aufbau her identisch dem 6 HE BGT, lediglich die Seitenteile sind auf den Einbauraum eines 3HE BGT in der Konsole angepasst. Meist werden in 3HE BGT Komponenten wie Lautsprecher, PoLo-Kassetten, Mikrofonanschlüsse, Regler, Schalter und Taster eingebaut (Abbildung 9).

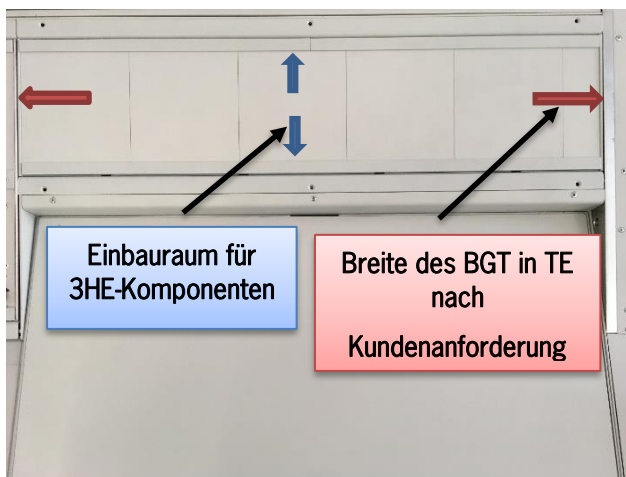


Abbildung 9: 3HE Baugruppenträger mit neuem Spannsystem.

Zur Entnahme/Entriegelung der Spannschiene werden die selbstentwickelten Werkzeuge in die Schlitze des Distanzblechs eingesteckt. Die Federschließer werden dadurch ausgelenkt und die Verriegelung zwischen den Federschließern und der Spannschiene gelöst. Die Spannschiene kann nun entnommen werden (Abbildung 10).

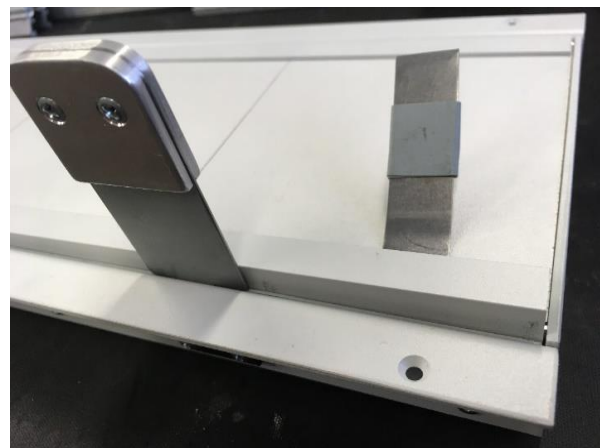


Abbildung 10: Entnahme einer Spannschiene.

## Fazit

Das entwickelte Befestigungssystem mit Federschließern und Spannschienen erfüllt alle Anforderungen an die Neukonzeption des Komponenteneinbaus.

Zur Entnahme oder Umpositionierung von Komponenten werden die Spannschienen mit dem entwickelten Werkzeug entriegelt und entnommen. Die frei auf den *Fischerprofilen* liegenden Komponenten können dann beliebig verschoben und angeordnet werden.

Durch das Einsetzen der Spannschienen in die vorgesehenen Schlitze, rasten die Federschließer in die Spannschienen ein und halten sie in Position. Die Komponenten werden durch die Spannschienen schraubenfrei fixiert. Der Montageaufwand im laufenden Betrieb wird zukünftig eine durchschnittliche Zeitersparnis von etwa 90% bringen und die Verfügbarkeit der operativen Konsolen erhöhen. Ein sehr wichtiger Aspekt ist ebenso die Verbesserung der Arbeitsergonomie, da die Belastung des Rückens durch die vorgebeugte Haltung während der Montage minimiert wird. Auch die schraubenfreie Optik des BGTs lässt die Bedienebene harmonischer und ansprechender wirken (Abbildung 11).



Abbildung 11: Vergleich alter BGT mit Schraubverbindung zu neuem BGT mit Spannsystem.

## Ausblick

Die dargestellte Lösung stellt eine technische Verbesserung dar, die in die Konstruktion der Standardkonsolen übernommen werden soll, so dass bei der Konsolenherstellung diese optimierte Ausführung verwendet werden kann.

Neben der Weiterentwicklung der Standardkonsolen wird die Konstruktion auch in zukünftigen Produktneuentwicklungen eine Anwendung finden. In den nächsten Jahren sind im Towerbereich Projekte geplant, die neue Arbeitsplätze in einem Contingency Tower, Dark Tower und Remote Tower vorsehen. Das Produktmanagement Konsolen konzipiert aktuell ein neues Konsolenprodukt, welches in den nächsten Jahren zur Serienreife entwickelt werden soll. Die beschriebene konstruktive Optimierung des Bedienbereichs soll hier einfließen und in einem Prototyping mit weiteren neuen Features validiert werden.

## Abkürzungsverzeichnis

BGT	Baugruppenträger
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Normen
HE	Höheneinheit (44,45mm)
PoLo	Position Logging (System)

SIS	Systems and Infrastructure Services
TID	Touch Input Display
TE	Teileinheit (Breite 5,08mm)

## Referenzen

- [1] Robotunits GmbH: Durchbiegung Berechnungsschema, abrufbar unter <https://www.robotunits.com/download/Robotunits-Profile-Durchbiegung-Torsion-Berechnungsschema.pdf>; letzter Aufruf am 08.03.2020, 11:02 Uhr.
- [2] Strommer, J.: Formelsammlung axiale/polare Flächenträgheitsmomente und Widerstandsmomente, abrufbar unter <https://www.johannes-strommer.com/formeln/flaechentraegheitsmoment-widerstandsmoment/>; letzter Aufruf am 07.03.2020, 17:01 Uhr.
- [3] Beuth Verlag GmbH (2009). DIN EN 60297-3-100, Bauweisen für elektronische Einrichtungen - Maße der 482,6-mm-(19-Zoll-)Bauweise - Teil 3-100: Hauptmaße von Frontplatten, Baugruppenträgern, Einschüben, Gestellen und Schränken (IEC 60297-3-100:2008); Deutsche Fassung EN 60297-3-100:2009; abrufbar unter DIN EN 60297-3-100 - 2009-09 - Beuth.de.
- [4] Wikipedia (2021). Brainwriting. abrufbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Brainwriting>.

# Ergebnisse einer europaweit verteilten Virtual Centre Validierung

Dr. Markus Debusmann & Eliana Haugg

## Einleitung

Das Konzept eines Virtual Centres (VC) sieht die Trennung der Air Traffic Service Unit (ATSU), in der die Dienstleistung Flugsicherung von Fluglotsen erbracht wird, und dem Ort der Datenbereitstellung, die durch einen oder mehrere ATM Data Service Provider (ADSP) erfolgt, vor. Hierbei können ATSU und ADSP organisatorisch getrennt sein. Traditionell werden beide Funktionen heute von Flugsicherungen erbracht. Es ist aber denkbar, dass dies in Zukunft getrennte Entitäten sein können und sich die Flugsicherungen stärker auf die Dienstleistung konzentrieren. Das Ziel ist eine effizientere und flexiblere Dienstleistung zu ermöglichen, als dies heute der Fall ist. Dieses langfristige Ziel wurde von der europäischen Kommission auch in der Airspace Architecture Study festgeschrieben [1].

Das Virtual-Centre-Konzept wird bereits seit SESAR 1 im damaligen Projekt B04.04 [2] untersucht, in dessen Rahmen die technische Machbarkeit erstmals nachgewiesen wurde. Ziel war hierbei die Definition von herstellerunabhängigen Services, die eine Trennung der Controller Working Position (CWP) in der ATSU und dem ADSP ermöglichen.

In SESAR 2020 Wave 1 wurde das Konzept innerhalb des Projektes PJ.16-03 [3] weiter definiert, der Fokus lag jedoch weiterhin auf technischen Aspekten. Daneben wurden in PJ.15-09 erste operationelle Use Cases für die Verlagerung von Lufträumen zwischen Kontrollzentralen identifiziert.

Im laufenden SESAR Projekt PJ.10-W2-93 „Delegation of Services amongst ATSUs“ werden nun verstärkt diese operationellen Aspekte des Konzepts untersucht. Hierbei geht es um die dynamische Verlagerung der Dienstleistung zwischen ATSUs, beispielsweise, um in verkehrsarmen Nachtzeiten eine Konsolidierung in wenigen ATSUs zu erreichen und dadurch eine effizientere Dienstleistung zu ermöglichen.

Hierzu fand vom 9. bis 11. Februar 2021 eine gemeinsame Validierungsübung über mehrere europäische Standorte unter Leitung der DFS statt. DFS, PANSA und NATS waren an der Validierung mit Lotsen beteiligt. Darüber hinaus wurden technische Systeme von Indra und Frequentis zur Verfügung gestellt. Die DFS

nutzte eine eigene CWP auf der Basis von Phoenix-CC. Weitere Partner waren ebenfalls virtuell zugeschaltet und begleiteten die Validierung.

## Konzept

Im SESAR Projekt PJ.10-W2-93 werden verschiedene Möglichkeiten der Delegation von Air Traffic Management (ATM) Diensten zwischen ATSUs untersucht. Die Delegation erfolgt auf der Grundlage von Verkehrs- oder Organisationsanforderungen. Hierbei werden u.a. die folgenden operationellen Use Cases untersucht:

- Delegation entsprechend eines vorher definierten Zeitplans, beispielsweise während der verkehrsarmen Nachtstunden
- Dynamische Delegation basierend auf Air Traffic Flow and Capacity Management (ATFCM) Informationen und verfügbaren Personalressourcen, um eine effiziente Auslastung von Personal und Luftraum zu erreichen
- Delegation zwischen zivilen und militärischen Partnern
- Cross-border Delegation zwischen benachbarten Partnern
- Delegation von Lufträumen an helfende ATSUs im Falle eines Verlusts einer Kontrollzentrale mit dem Ziel, die Anzahl der geschlossenen Sektoren zu minimieren

Für alle Delegationen, die zwischen ATSUs möglich sind, müssen vorher die notwendigen Letters of Agreement (LoA) existieren, in denen die Bedingungen und Leitplanken zur Delegation zwischen zwei ATSUs definiert sind. Dies bedeutet, dass die potenziellen Delegationspartner im Vorfeld bekannt sind und es keine Delegation zwischen unbekanntem Partnern geben kann. Der Zeitpunkt kann aber abhängig vom operationellen Use Case dynamisch bestimmt werden.

Im Rahmen des Projektes PJ.10-W2-93 wird angenommen, dass die Lotsen, die einen Luftraum übernehmen, die dazu notwendige Lizenz und Qualifikation haben. Für ein effizientes Deployment des VC-Konzepts, sind wahrscheinlich Änderungen an dem heute existierenden Lizenzmodell notwendig. Dies ist jedoch, Untersuchungsgegenstand anderer SESAR-Projekte.



Im Rahmen des Projekts wurden zwei grundlegende operationelle Prozeduren definiert, die die Delegation von Luftraum zwischen zwei ATSUs im Normalbetrieb und im Contingency-Fall definieren. In allen Fällen erfolgt die Delegation entsprechend der im Projekt definierten Prozeduren, egal ob es eine planmäßige Delegation ist, oder ob der Delegierungszeitpunkt dynamisch bestimmt wird. Der Ablauf einer Delegation ist stets gleich, was aus Safety-Sicht ein wichtiger Aspekt ist.

Der aktuelle Reifegrad des Konzepts entspricht einer V2-Reife nach E-OCVM [4].

### Validierungsziele

Ziel der Validierung war es, die definierten Delegierungsprozeduren unter betrieblichen Gesichtspunkten zu untersuchen und die Auswirkungen auf die Beanspruchung und das Situationsbewusstsein der Lotsen, sowie auf die Sicherheit zu erfassen.

Im Rahmen der Validierung wurden die folgenden beiden operationellen Use Cases untersucht:

- Delegation während der Nachtstunden: in verkehrsarmen Zeiten delegieren abgebende ATSUs ihren Luftraum an eine übernehmende ATSU, die während dieser Zeit den gesamten Luftraum kontrolliert, während die abgebenden ATSUs für diese Zeit nicht in Betrieb sind.
- Ausfall einer ATSU: in einer Kontrollzentrale tritt ein Vorfall auf, der einen Weiterbetrieb der ATSU unmöglich macht. Aus diesem Grund versucht die ATSU ihren Luftraum an eine vorher definierte Aiding Unit zu übergeben, sofern deren Ressourcenlage eine kurzfristige Übergabe ermöglicht.

### Validierungsumgebung

In der Validierung wurden Lufträume des Karlsruhe UAC und Zürich ACC genutzt (Abbildung 1). Zur Anwendung kamen hierbei die konsolidierten Sektoren Söllingen (SLN) und Tango (TGO), der Sektor Alpen (ALP) sowie der Sektor Zürich (ZUR). An der Validierung nahm operationelles Personal der drei ANSPs DFS, NATS und PANSAs teil, wobei jeweils ein Radar- und ein Planungslotse zum Einsatz kamen. In den verschiedenen Validierungsläufen wurden diese Sektoren initial den Lotsen der drei Partner zugewiesen und dann im Laufe der Validierungsläufe zwischen den drei ATSUs übergeben. Dabei wurden zu Beginn der Validierung die Sektoren Söllingen (SLN) und Tango (TNG) von einem ANSP kontrolliert, ein weiterer ANSP kontrollierte jeweils die Sektoren Alpen (ALP) bzw. Zürich (ZUR).

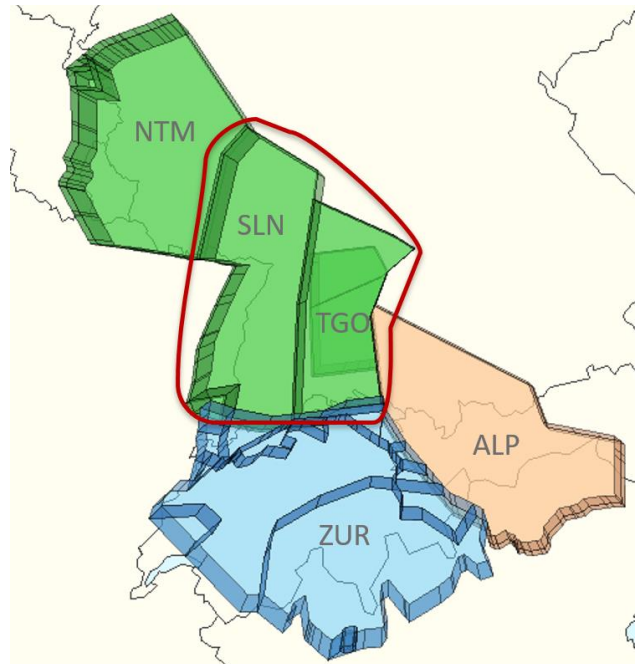


Abbildung 1: Simulierter Luftraum Karlsruhe UAC und Zürich ACC.

Im Laufe der Validierung wurden die Sektoren zwischen den virtuellen Kontrollzentralen in Langen, Southampton und Warschau delegiert. Die verwendeten Verkehrsszenarien basierten auf realen historischen Daten, die über das Eurocontrol Network Strategic Tool (NEST) [4] nutzbar waren.

Abbildung 2 zeigt die europaweite geographische Verteilung der Komponenten. Insgesamt war das gesamte ATS-System über 5 Standorte in verschiedenen Ländern verteilt und über Weitverkehrsverbindungen miteinander verbunden.



Abbildung 2: geographischer Validierungsaufbau.

## Technischer Aufbau

Entsprechend der Grundidee des Virtual Centre, d.h. der Trennung von Dienstleistung und Datenbereitstellung, kam auch in der Validierungsübung ein europaweit verteiltes System zum Einsatz. Insgesamt waren sechs Partner an der Validierung beteiligt: DFS, NATS und PANSAs als ANSPs bzw. ATSUs, Indra und Frequentis als Provider von ATS- und Sprachkommunikationssystemen, sowie ENAV zur Unterstützung der Human Performance (HP) und Safety Assessments.

Die technische Validierungsplattform war wie folgt aufgebaut (siehe Abbildung 3):

- Indra (Madrid) stellte den Realzeitsimulator, der die Verkehrsszenarien für die Validierungsübung trieb. Weiterhin stellte Indra das ATS-System auf der Basis des iTEC-Systems sowie die CWP für PANSAs. Daneben stellte Indra auch das Sprachkommunikationssystem für NATS zur Verfügung.
- DFS (Langen) betrieb zwei CWP auf der Basis des DFS-Fallbacksystems Phoenix, welche mit dem iTEC-System von Indra über die herstellerunabhängigen SESAR-Services integriert war. Zur Sprachkommunikation hatte die DFS zwei Spracharbeitsplätze von Frequentis zur Verfügung (siehe Abbildung 5).
- NATS (Southampton) hatte je eine iTEC-CWP für den Radar- und den Planungslotsen. Die iTEC-CWPs waren zu Teilen ebenfalls über die SESAR-Services mit dem iTEC-System in Madrid integriert. Dazu standen zwei Indra-Spracharbeitsplätze zur Verfügung.
- Frequentis (Wien) stellte mit dem AMQP-Broker die zentrale Middleware-Komponente zur Verfügung, über die die Daten der SESAR-Services ausgetauscht wurden. Des Weiteren stellte Frequentis das Sprachkommunikationssystem zur Verfügung, an dem die DFS-Spracharbeitsplätze hingen.
- PANSAs (Warschau) konnte aufgrund Covid-19-bedingter Reisebeschränkungen nicht wie geplant ihre Lotsen in Madrid an der Validierung teilnehmen lassen, sondern es musste dafür eine Remote-Lösung gefunden werden. Die Bildschirme der in Madrid befindlichen iTEC-CWPs wurden per MS Teams nach Warschau exportiert. Durch die entstandenen Latenzen über die Weitverkehrsverbindung war die Nutzung der

CWP zeitweise schwierig. Auch für die Sprachkommunikation musste eine Ersatzlösung gefunden werden, die auf der Discord-Plattform basierte.

Alle Standorte waren über VPN-Tunnel mit Wien als zentralem Standort verbunden, von dem die Daten zwischen den ATSUs und dem dem iTEC-ADSP verteilt wurden.

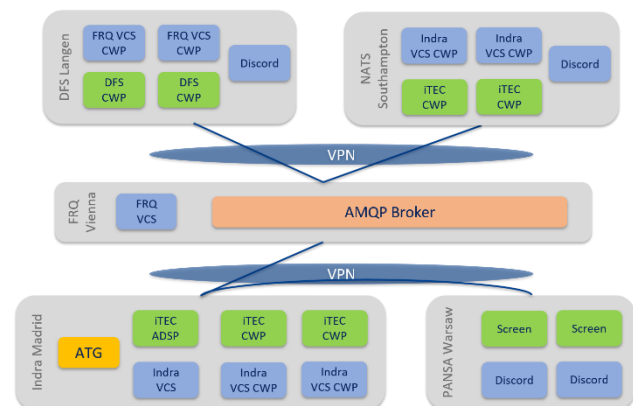


Abbildung 3: Aufbau der technischen Validierungsplattform.

Die teilnehmenden Partner nutzten zum Teil unterschiedliche ATM-Systeme. Die DFS nutzte das Phoenix-System als Basis für die Validierung. In den Labels standen den Lotsen jedoch nur limitierte Informationen (siehe Abbildung 4) zur Verfügung, auch waren die Luftfahrzeuge nicht automatisch farblich entsprechend ihres Flugstatus (advanced, assumed etc.) gekennzeichnet. Weiterhin war keine Tool-Unterstützung zur Konflikterkennung oder Trajektorienvorhersage implementiert.

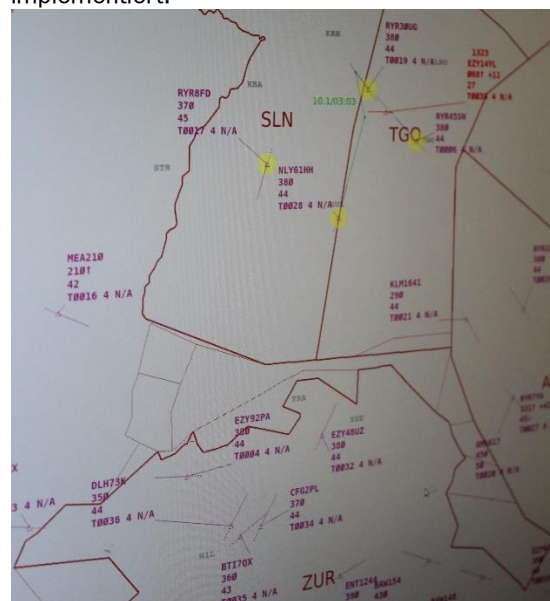


Abbildung 4: Die DFS-CWP.

Auf Seiten der DFS standen Spracharbeitsplätze zur Verfügung (siehe Abbildung 5), über die sowohl eine Ground/Ground-Telefonie mit den Lotsen in Southampton, als auch eine simulierte Funkverbindung mit den Simulationspiloten in Madrid hergestellt werden konnte.

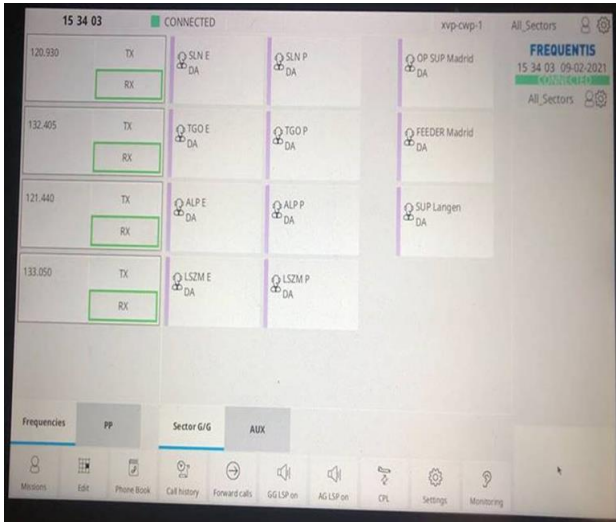


Abbildung 5: Das Voice System (Frequentis) bei der DFS.

Während der Validierung waren nicht nur die beteiligten Lotsen über Funk bzw. Discord Channel verbunden, auch die Versuchsleiter, Human Performance und Safety-Experten waren an den verschiedenen Standorten über eine MS-Teams-Konferenz verbunden. Über die Teams-Konferenz wurde zeitweise auch ein Video übertragen, um den Beteiligten einen Überblick über den Aufbau und einen Einblick in die Arbeitsweisen und Abläufe vor Ort zu geben. Im Anschluss an die Validierungsläufe wurde MS Teams auch verwendet, um die HP- und Safety-Interviews zu führen und Feedback zu geben.

**Durchführung**

Die Validierung wurde an drei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt, dabei wurden drei unterschiedliche Varianten der Delegation von Lufträumen und ATM Diensten an jeweils einem Tag simuliert.

Zu Beginn eines Validierungslaufs wurde jeder (kombinierte) Sektor einer der ATSU's (Langen, Southampton und Warschau) zugewiesen und dann auf verschiedene Weise von einer ATSU zur nächsten delegiert, bis schließlich alle drei Sektoren von einer einzigen ATSU übernommen wurden. Anschließend wurden die Sektoren wieder an die ursprünglichen ATSU's zurück delegiert, sodass die Sektorkonfiguration zu Beginn eines Runs und an dessen Ende identisch war. Die Zeitpunkte der Delegation wurden vom

Versuchsleiter vorgegeben, um den Zeitplan einzuhalten. Die Verkehrslast in den verschiedenen Sektoren zum Zeitpunkt der Delegation konnte daher nicht berücksichtigt werden. An jedem Tag fanden drei Validierungsläufe statt, sodass jede ATSU jeweils einmal die erste bzw. zweite Delegation vornahm oder die Ziel-ATSU war.

Die folgenden drei Varianten der Delegation wurden untersucht:

**Nachtdelegation Sektor für Sektor**

Die Sektoren wurden einzeln von einer ATSU an die Ziel-ATSU delegiert (siehe Abbildung 6). Im dargestellten Beispiel wird zunächst Sektor 1 von der blauen ATSU delegiert und mit Sektor 3 bei der orangen ATSU zusammengeführt. Dann wird Sektor 2 von der grünen ATSU delegiert und mit den Sektoren 1 und 3 bei der orangen ATSU konsolidiert.



Abbildung 6: Nachtdelegation Sektor für Sektor.

**Nachtdelegation von konsolidierten Sektoren**

Die erste ATSU delegiert ihren Sektor an die zweite ATSU, welche den delegierten Sektor mit ihrem bereits verwalteten Sektor konsolidiert. Anschließend werden diese beiden konsolidierten Sektoren an die letzte ATSU delegiert (siehe Abbildung 7). Im dargestellten Beispiel wird zunächst Sektor 1 von der blauen ATSU an die grüne ATSU delegiert und mit deren Sektor 2 konsolidiert. Dann werden diese konsolidierten Sektoren von der grünen ATSU an die orange ATSU delegiert und mit deren Sektor 3 zusammengeführt.

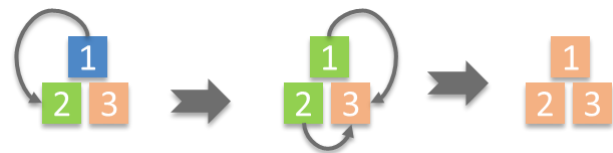


Abbildung 7: Nachtdelegation von konsolidierten Sektoren.

Die Validierungsläufe für die Nachtdelegation wurden mit einer Verkehrslast von 35-50 Luftfahrzeugen pro Stunde durchgeführt.

**Notfalldelegation**

Zunächst wurde für jede ATSU eine aushelfende ATSU definiert. Daraufhin wurde während des Runs eine der

ATSUs mit einem Radarausfall überrascht und musste ihren Luftraum gemäß der Delegierungsprozedur an ihre unterstützende ATSU übergeben.

Alle (kombinierten) Sektoren wurden in der Validierung von einem Radar- und einem Planungsloten bearbeitet. Ursprünglich war geplant, dass der Supervisor die Delegierung koordiniert, in der Validierung wurde die Delegierung jedoch durch den Planungsloten übernommen.

Die Delegierung verlief nach dem Protokoll aus Tabelle 1. Der delegierende Planungslot ruft den Planungsloten der annehmenden ATSU an und prüft die Möglichkeit einer Delegierung. Bei positiver Antwort wird eine Vorschau des Sektors aktiviert, und die entsprechenden Funkfrequenzen selektiert. Wie bei einer normalen Übergabe (z.B. bei Personalwechsel) werden dann beispielsweise Wetter und die aktuelle Verkehrssituation ggf. mit Besonderheiten übergeben. Alle Luftfahrzeuge unter Kontrolle werden einzeln übergeben. Erst dann wird die Kontrolle übergeben und die Funkfrequenzen umgeschaltet.

*Tabelle 1: Übergabeprotokoll.*

Delegating Planner Actions	Receiving Planner Actions
Call receiving Planner	
Request Delegation →	Check possibility ← Confirm Delegation
Request Preview for sectors <sector names> →	Select sectors to preview ← Confirm preview
Advise frequencies xxx.yyy for Rx →	Select frequencies to Rx ← Confirm frequencies xxx.yyy switched to Rx
Report Weather, Equipment, Situation →	← Confirm Weather, Equipment, Situation
Handover a/c →	← Confirm a/c
All a/c handed over? Ready to take control? →	Confirm readiness Select <Take control> Switch frequencies for delegated sector to Tx/Rx ← Control taken
Ask to cancel preview →	← Confirm cancel preview is acceptable
Cancel preview Confirm Preview is canceled →	

Die Validierungsläufe für die Notfalldelegierung wurden mit einer Verkehrslast von 100 Luftfahrzeugen pro Stunde durchgeführt.

## Datenerhebung

Während der Validierung wurden subjektive Daten mit Hilfe standardisierter Fragebögen und strukturierter Debriefings erhoben. Hierzu beantworteten die Teilnehmer nach jedem Validierungslauf und zum Ende der Validierung Fragen zu verschiedenen Themenbereichen via Google Forms. Der Post Run Fragebogen bestand aus Fragen zur mentalen Beanspruchung (Bedford Scale [8], NASA-TLX [9]), Situationsbewusstsein (China Lakes, SASHA- Situational Awareness for SHAPE [10]), Akzeptanz (CARS- Controller Acceptance Rating Scale [11]) sowie aus offenen Fragen zu Teamwork und Teamzusammenstellung, Sicherheit und Vertrautheit mit den neuen Arbeitsweisen.

Die Antworten konnten in Google Forms eingesehen, und auffallend negative bzw. positive Antworten direkt im anschließenden Debriefing aufgegriffen werden. Des Weiteren wurden im Debriefing der Verlauf der Delegierung, Besonderheiten, Schwierigkeiten und Verbesserungsvorschläge besprochen. Das Debriefing wurde über eine MS-Teams-Konferenz durchgeführt.

Zum Ende der Validierungskampagne wurde ein Abschlussfragebogen via Google Forms ausgefüllt. Dieser beinhaltete offene Fragen zur Beanspruchung und Safety, Fragen zum Situationsbewusstsein (SASHA- Situational Awareness for SHAPE [10]), Vertrauen (SATI- SHAPE Automation Trust Index [12]) und Benutzerfreundlichkeit (SUS- System Usability Scale [13]).

Die Validierung wurde bei den Partnern von Human Factors und Safety Experten begleitet, die den Verlauf der Validierung beobachteten, die Datenerhebung durchführten und durch die Debriefings leiteten. Da auf Grund der Corona-Pandemie keine Reisen möglich waren, konnten die Verantwortlichen der ENAV für Human Factors und Safety selbst nicht bei einer der Validierungen anwesend sein und waren im Wesentlichen nur über Audioleitung verbunden. Die Experten bei den Partnern vor Ort waren jedoch in der Lage, detaillierte Beobachtungen aus der Validierung in Diskussionen einzubringen, die sonst ggf. nicht erfasst worden wären.

## Ergebnisse

### Prozeduren

Um die betriebliche Durchführbarkeit der Delegierungsprozeduren zu bewerten, wurden den Flugloten im Post



Run Fragebogen verschiedene Fragen zu den Prozeduren vorgelegt (1=stimme überhaupt nicht zu bis 6=stimme voll und ganz zu). Abbildung 8 zeigt die Antworten der Lotsen auf die Frage, ob die Prozeduren klar definiert und dokumentiert waren. Die Delegierungsprozedur wurde von allen Teilnehmern als klar und gut dokumentiert angesehen. Im Debriefing wurde betont, dass für die Prozeduren eine angemessene Schulung erforderlich ist. Darüber hinaus werden in ATSUs, die einen delegierten Luftraum bedienen, lizenzierte und entsprechend ausgebildete Fluglotsen benötigt. Dieser Aspekt wurde im Rahmen der Validierung ausgeklammert.

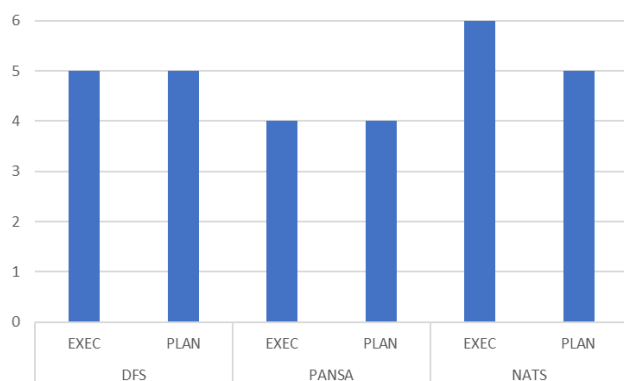


Abbildung 8: Ergebnisse der Prozeduren.

Die Controller Acceptance Rating Scale (CARS) wurde im Post Run Fragebogen verwendet, um die betriebliche Akzeptanz der Delegierungsverfahren zu messen. Die Skala besteht aus einem hierarchischen Entscheidungsbaum, der die Fluglotsen durch eine zehnstufige Bewertungsskala führt (1= „Verbesserung obligatorisch“ bis 10 = "Mängel selten"), wobei jeder Punkt von einer Beschreibung des zugehörigen Akzeptanzniveaus begleitet wird.

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der CARS-Skala. Von Seiten der DFS ergab sich eine Bewertung zwischen 7 (geringfügige, aber störende Unzulänglichkeiten, die gewünschte Leistung erfordert eine mäßige Kompensation durch den Lotsen) und 8 (leicht unangenehme Unzulänglichkeiten, das System ist akzeptabel und es sind nur minimale Kompensationen erforderlich, um die gewünschte Leistung zu erreichen). Die DFS-Lotsen berichteten, dass die Kombination aus unbekanntem ATS-System, unbekanntem Sektoren und fehlender Konflikterkennung Probleme verursachte. Gemäß den Aufzeichnungen des Debriefings wurden diese Probleme jedoch im Wesentlichen auf die Simulationsumgebung zurückgeführt (z.B. unerwartetes Verhalten von Luftfahrzeugen und Probleme bei der Kommunikation).

Die Bewertungen der PANSO-Lotsen lagen ebenfalls zwischen 7 und 8. Die Lotsen bestätigten, dass die Verfahren funktionierten, aber noch einige Schritte erforderlich sind, z. B. die Bestätigung des Funkkontakts im Übergabeprotokoll, und/oder die Frage, welche der Schritte für Notfallverfahren obligatorisch sein sollten.

Aus Sicht von NATS wurde die Akzeptanz der Prozeduren mit 5 bewertet (sehr beanstandungswürdige Unzulänglichkeiten, die Aufrechterhaltung einer angemessenen Leistung erfordert eine umfangreiche Kompensation durch den Lotsen). Die niedrige Punktzahl wurde in den Debriefings mit mangelndem Training zum Luftraum und fehlender Konflikterkennung begründet. Die Lotsen berichteten, dass sie nicht immer in der Lage waren, das Situationsbewusstsein aufrechtzuerhalten.

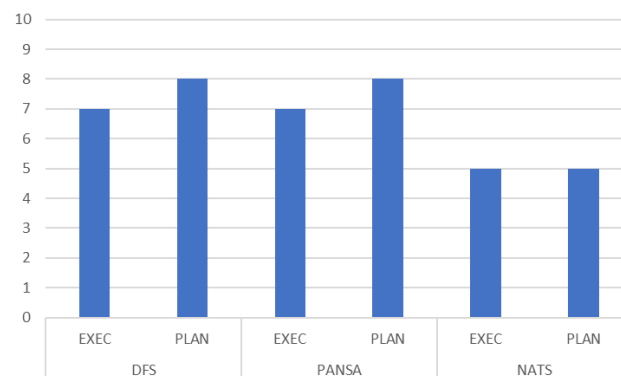


Abbildung 9: Ergebnisse der CARS-Skala Beanspruchung.

Um die Beanspruchung der Lotsen zu erfassen, wurde unter anderem die Bedford Workload Scale verwendet. Die Skala umfasst einen hierarchischen Entscheidungsbaum, der die Fluglotsen durch eine zehnstufige Bewertungsskala (1 = niedrigste bis 10 = höchste Beanspruchung) führt, wobei jeder Punkt mit einer Beschreibung des zugehörigen Grades der Beanspruchung versehen ist. Für die Interpretation der Ergebnisse werden Werte im Bereich von 1-3 als zufriedenstellende Beanspruchung angesehen, 4-6 stehen für eine tolerierbare, aber nicht zufriedenstellende Beanspruchung, Antworten über 6 erfordern weitere Untersuchungen (die Beanspruchung war nicht tolerierbar, aber es war möglich, die Aufgabe zu erledigen) und 9-10 werden als inakzeptabel angesehen (es war nicht möglich, die Aufgabe zu erledigen).

Im Rahmen der Nachtdelegierung wurden zwei verschiedene Szenarien getestet. Die Ergebnisse des Post Run Fragebogens sind in Abbildung 10 dargestellt. In blau ist die durchschnittliche Beanspruchung für die sektorweise Delegation dargestellt. Die subjektive Beanspruchung lag in einem erträglichen Bereich, es gab noch genügend freie Kapazitäten, um andere



Aufgaben zu bewältigen. In orange ist die durchschnittliche Beanspruchung für die Delegation konsolidierter Sektoren zu sehen. Die subjektive Beanspruchung war zufriedenstellend und die Lotsen verfügten über genügend freie Kapazitäten für alle erwünschten zusätzlichen Aufgaben.

Die PANSALotsen gaben an, dass es während der Simulation Probleme bei der Übernahme der Züricher Sektoren gab, da sie in diesen Fällen sehr viel Verkehr in einem unbekanntem Luftraum bearbeiten mussten. Auch die Lotsen der NATS sagten im Debriefing, dass sie auf Grund des Fehlens des Konflikterkennungstools Foursight, der mangelnden Vertrautheit mit dem Luftraum und hoher Verkehrslast nicht das Gefühl hatten, den Verkehr jederzeit unter Kontrolle zu haben.

Für die Notfalldelegation zeigt Abbildung 11 die durchschnittlichen Werte der Bedford-Skala zwischen 3 (genügend freie Kapazitäten für alle wünschenswerten zusätzlichen Aufgaben) und 4 (unzureichende freie Kapazitäten für die frühzeitige Erledigung zusätzlicher Aufgaben). Die Fluglotsen der DFS berichteten, dass die Verkehrslast bis zum Ausfall des Radars zwar hoch, aber gut zu bewältigen war. Zum Zeitpunkt des Ausfalls hielten die Unterstützung durch das Übergabeprotokoll und die Tatsache, dass der übernehmende Sektor den gesamten Verkehr sehen konnte, die Beanspruchung auf einem akzeptablen Niveau. Die Fluglotsen von NATS wiesen darauf hin, dass die Beanspruchung aufgrund eines technischen Problems während der Notfallprozedur erhöht wurde. Von PANSA berichteten die Lotsen, dass die Arbeit über MS Teams/Discord manchmal frustrierend war und zu technischen Schwierigkeiten wie Verzögerungen führte.

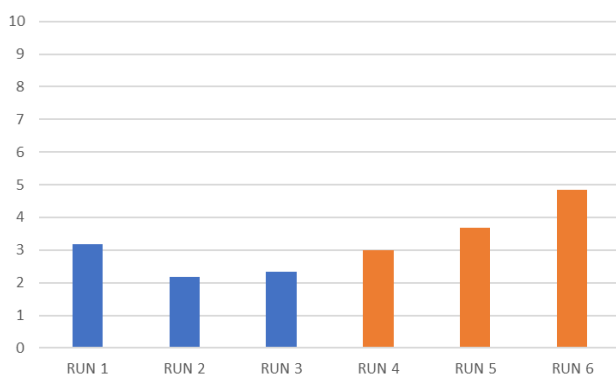


Abbildung 10: Ergebnisse der Beanspruchung nach Bedford Workload Scale für die Nachtdelegation.

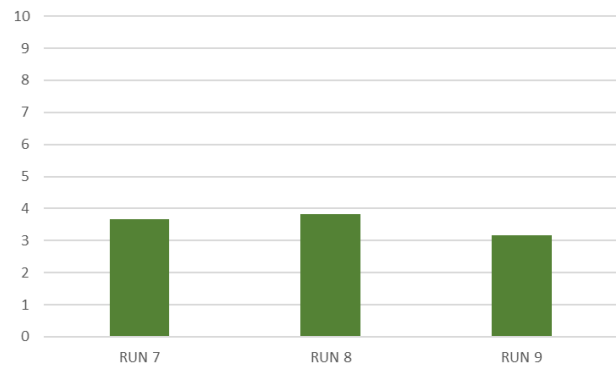


Abbildung 11: Ergebnisse der Beanspruchung nach Bedford Workload Scale für die Notfalldelegation.

Die Ergebnisse der Bedford Skala stimmen mit denen des NASA-TLX überein. Auch hier waren die Fluglotsen in der Lage, ihre Aufgaben mit einem durchschnittlich tolerierbaren Maß an Aufmerksamkeit und Anstrengung zu bewältigen.

### Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein wurde unter anderem mit Hilfe der China Lakes Skala bewertet. Die Skala misst den wahrgenommenen Grad des Situationsbewusstseins der Fluglotsen nach jedem Validierungslauf. Auch sie besteht aus einem hierarchischen Entscheidungsbaum, der die Lotsen durch eine zehnstufige Bewertungsskala führt, wobei jedem Punkt eine Beschreibung des zugehörigen Grades an Situationsbewusstsein entspricht.

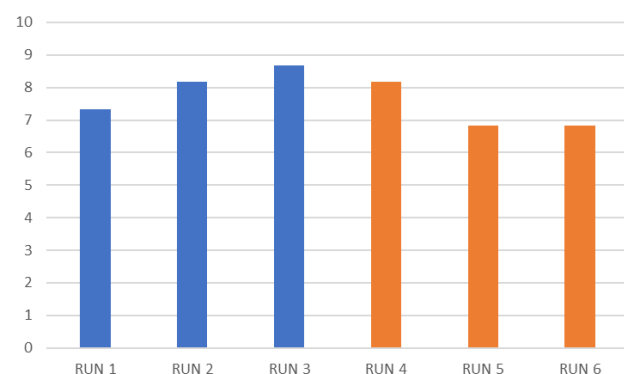


Abbildung 12: Ergebnisse zum Situationsbewusstsein (SA) für die Nachtdelegation.

Abbildung 12 zeigt die durchschnittliche Bewertung des Situationsbewusstseins aus dem China Lakes Fragebogen für die Nachtdelegation. Die Delegation einzelner Sektoren ist in blau, die Delegation zusammengelegter Sektoren in orange dargestellt. Die Ergebnisse waren für alle Validierungsläufe mit Nachtdelegation vergleichbar, wobei das höhere durchschnittliche Situationsbewusstsein bei den

Validierungsläufen mit Delegation einzelner Sektoren verzeichnet wurde. Insgesamt wurde ein zufriedenstellendes Situationsbewusstsein gemessen.

Ähnliche Ergebnisse zeigte auch der SASHA Fragebogen. Die Lotsen hatten bei der Nachtdelegation meist ein gutes Bild der Situation und konnten ihre Arbeit gut planen und organisieren. Selten wurden sie von einem Ereignis überrascht oder fokussierten sich zu sehr auf ein einzelnes Problem.

Abbildung 13 stellt die durchschnittliche Bewertung des Situationsbewusstseins aus dem China Lakes Fragebogen für die Notfalldelegation dar. Das Situationsbewusstsein der Lotsen in Bezug auf die Aufgabe war gut und sie waren in der Lage, ihre Aufgabe die meiste Zeit über gut zu erfüllen. Auch im SASHA-Fragebogen bewerteten die Lotsen ihr Situationsbewusstsein als gut. Jedoch gaben die Lotsen an, im Moment des Radarausfalls ein geringeres Situationsbewusstsein zu haben. Bei der Notfalldelegation war der Radarbildschirm zunächst leer, dann tauchten die Radarziele wieder auf und verschwanden dann wieder, so dass die Lotsen zeitweise nicht über alle Informationen zur effektiven Durchführung ihrer Aufgabe verfügten. Da es keine Ziele auf dem Radarbildschirm gab und sich die Fluglotsen nicht an alle Luftfahrzeuge erinnern konnten, waren die Übergaben eher kurz. Das Übergabeprotokoll wurde in dieser stressigen Situation nicht vollständig eingehalten. Jedoch half das Protokoll den Lotsen dabei, die Luftfahrzeuge strukturiert zu übergeben. Auf der Seite des Sektors, der die delegierten Luftfahrzeuge erhielt, berichtete der Planungslotse ebenfalls über eine vorübergehende Verringerung des Situationsbewusstseins.

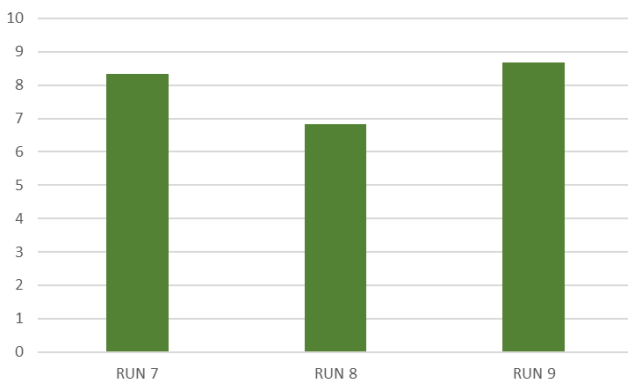


Abbildung 13: Ergebnisse zum Situationsbewusstsein (SA) für die Notfalldelegation.

**Safety**

Im Post-Run Fragebogen sollten Die Lotsen auf einer Likert-Skala von 0 („nie“) bis 6 („immer“) die Frage

beantworten, ob "das Sicherheitsniveau während des Validierungslaufs aufrechterhalten wurde". Abbildung 14 zeigt die Durchschnittswerte für die einzelnen Lotsenpositionen der verschiedenen ATSUs für die Validierungsläufe mit sektorweiser Delegation in blau und für konsolidierte Sektoren in orange. Im Allgemeinen wurde das Sicherheitsniveau während der nächtlichen Delegationsläufe aufrechterhalten. Es wurden jedoch einige mögliche Sicherheitsbedenken erfasst. Beispielsweise konnte in zwei Situationen bei NATS kein Heading eingegeben werden, so dass das Radar nicht die aktuelle Situation wiedergab. Weiterhin gab es bei Eingaben eine Verzögerung von 1-3 Sekunden, was bei geringem Verkehr akzeptabel ist, bei höherem Verkehr jedoch ein großes Problem darstellen kann. Bei den Übergaben konnten einige Informationen nicht in der Vorschau angezeigt werden, beispielsweise der Status des Luftfahrzeugs. Auch fehlten Informationen zu Headings, welche vor der Übergabe noch vom abgebenden Sektor angewiesen worden waren. Im Allgemeinen stimmten die Fluglotsen darin überein, dass sie potenzielle Probleme manchmal nicht so früh erkannten, wie mit ihrer gewohnten Toolunterstützung und Arbeitsumgebung.

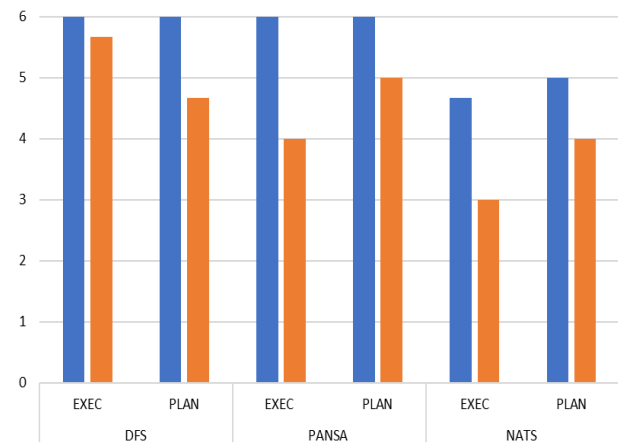


Abbildung 14: Ergebnisse zur Safety bei Nachtdelegation.

Abbildung 15 zeigt die Antworten der Fluglotsen auf die Frage, ob „die Durchführung der Delegierungsprozedur sicher war“ auf einer Likert-Skala von 0 („nie“) bis 6 („immer“). Die Durchschnittswerte für die einzelnen Lotsenpositionen der verschiedenen ATSUs für die Validierungsläufe mit sektorweiser Delegation sind in blau, die für konsolidierte Sektoren in orange dargestellt. Insgesamt gaben die Fluglotsen an, dass die Delegierungsprozedur gut, durchführbar und ziemlich sicher war. Allerdings berichteten die NATS Lotsen, dass es manchmal Probleme mit dem HMI gab, z. B. wurde der Status der Luftfahrzeuge im Vorschaumodus nicht korrekt angezeigt oder die Luftfahrzeuge mussten über „Force Assume“ aktiv angefordert werden. Diese Art von

Problemen führte zu einer höheren Beanspruchung und dazu, dass die Delegierungsprozedur länger dauerte. Die Fluglotsen stimmten jedoch darin überein, dass die Prozedur auf technischer Ebene gut funktionierte, jedoch mangelnde Luftraumkenntnisse und ein mangelhaftes HMI dazu führen können, dass bei einer Übergabe etwas Wichtiges vergessen wird.

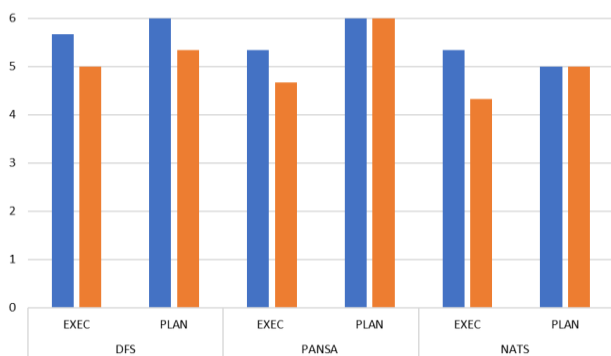


Abbildung 15: Ergebnisse zur Safety der Nachtdelegierungsprozedur.

Die Konflikte, die während der Delegierungsprozedur beobachtet wurden, waren laut Aussage der Lotsen nicht auf die Prozedur selbst zurückzuführen. Diese hatten beispielsweise Verzögerungen bei der Kommunikation über Discord, unzureichende Sichtbarkeit des Radarbildes über MS-Teams-Übertragung, das Fehlen der gewohnten Konflikterkennungstools und auch die Übergabe während Hochlastsituationen als Ursache.

Auch für die Notfalldelegierung wurde die Sicherheit überwiegend positiv bewertet. Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse auf die Frage, ob „das Sicherheitsniveau während des Validierungslaufs aufrechterhalten wurde“ auf einer Likert-Skala von 0 („nie“) bis 6 („immer“). Auf Seite der NATS gab es während der Notfalldelegierung Luftfahrzeuge, die kurzfristig auf dem Radar auftauchten und Konflikte verursachten, dies war jedoch auf das Verkehrsbeispiel im Simulator zurückzuführen.

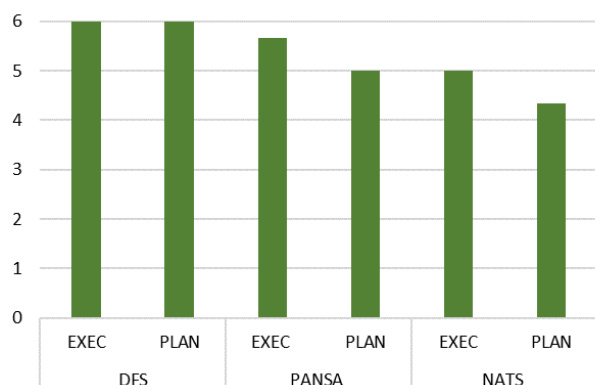


Abbildung 16: Ergebnisse zur Safety bei Notfalldelegierung.

Auch die Delegierungsprozedur wurde überwiegend als sicher bewertet, siehe Abbildung 17. Selbst wenn ein Fluglotse aufgrund einer unvorhergesehenen Situation (z. B. Radarausfall) keinen Zugang zu allen Funktionen hat, die für eine sichere Verkehrsabwicklung erforderlich sind, kann die Möglichkeit, den Verkehr an eine andere, voll funktionsfähige ATSU zu delegieren, weitere Probleme verhindern. Die ATSU, welcher der Verkehr übertragen wird, muss ein gewisses Maß an Unsicherheit hinnehmen. Dies kann im Rahmen einer Notfalldelegierung als akzeptabel angesehen werden. Die meisten Bedenken der Fluglotsen bezogen sich auch hier nicht auf die Prozedur selbst, sondern auf die Simulationsumgebung (z. B. keine Unterstützungstools, Unkenntnis des Luftraums und Mangel an Ausbildung bzw. Training auf den Sektoren).

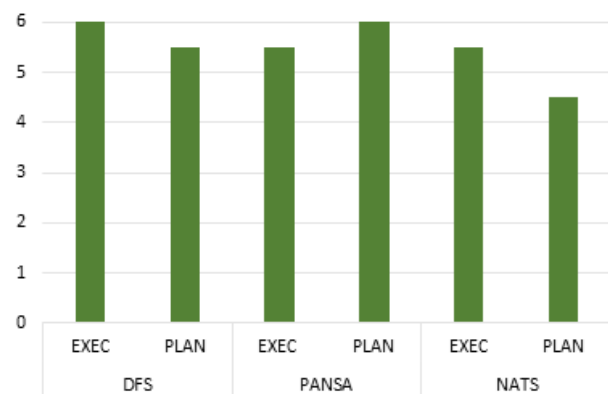


Abbildung 17: Ergebnisse zur Safety der Notfalldelegierungsprozedur.

Darüber hinaus wurde im Debriefing diskutiert, ob alle Luftfahrzeuge mit vollständigen Informationen (einschließlich FL, Heading etc.) übergeben werden sollten. Dies ist zeitaufwändig, und wenn die annehmende ATSU bereits viele Luftfahrzeuge unter Kontrolle hat, ist die Arbeitsbelastung sehr hoch, da in der Zwischenzeit auch die eigenen Luftfahrzeuge kontrolliert und Freigaben erteilt werden müssen. Im Gegensatz zur Nachtdelegierung ist die Notfalldelegierung nicht planbar und kann z. B. in Situationen mit hohem Verkehrsaufkommen auftreten, was für die Delegierung nicht ideal ist. Dennoch ist es wichtig, vollständige Informationen zu geben. Es könnte der Fall eintreten, dass Daten voneinander abweichen oder beschädigt sind (z. B. wenn Daten von zwei verschiedenen Systemen verarbeitet werden).

## Fazit

In der Validierung konnte gezeigt werden, dass die Notfall- und Nachtdelegierung einzelner und kombinierter Sektoren an andere ATSUs nicht nur technisch, sondern auch aus betrieblicher Sicht grundsätzlich möglich ist. Die Beanspruchung der Lotsen während der Delegierung und das Situationsbewusstsein waren weitestgehend zufriedenstellend. Die Delegierung wurde überwiegend als sicher bewertet. Um präzisere Aussagen machen zu können, müssen in zukünftigen Validierungen verschiedene Aspekte verbessert werden. Im Vorfeld muss mehr Zeit darauf verwendet werden, die Teilnehmer in unbekannte Lufträume und Verfahren einzuweisen. Auch sollte das HMI verbessert und Informationen z.B. zum Status der Luftfahrzeuge in gewohnter Weise dargestellt werden. Des Weiteren sollten auch Unterstützungstools, z.B. Werkzeuge zur Konflikterkennung zur Verfügung stehen. Zudem müssten die Validierungsteilnehmer den Zeitpunkt der Delegierung aufgrund der Verkehrssituation selbst festlegen. Dies würde aber unter Umständen längere Validierungsläufe erfordern und damit den Zeitaufwand für die gesamte Validierungsübung erhöhen.

Die nächste und abschließende V3-Validierung im Rahmen des SESAR Projektes PJ.10-W2-93 soll im Oktober 2022 erfolgen.

## Abkürzungsverzeichnis und Referenzen

ACC	Area Control Centre
ADSP	ATM Data Service Provider
AMQP	Advanced Message Queing Protocol
ATSU	Air Traffic Service Unit
ATM	Air Traffic Management
HMI	Human Machine Interface
HP	Human Performance
MS	Microsoft
NEST	Network Strategic Tool
SA	Situational Awareness
UAC	Upper Area Control
VC	Virtual Centre

## Referenzen

- [1] SESAR Joint Undertaking: A proposal for the future architecture of the European airspace, 2017.
- [2] SESAR B.04.04 Conclusion Report, D005, edition 01.00.02, 2016.
- [3] SESAR Technological Solution PJ.16-03: Technical Validation Report (TVALR) for TRL6. D2.2.020, edition 02.00.00, 2019.
- [4] Eurocontrol (2010). E-OCVM: European Operational Concept Validation Methodology, Version 3.0.
- [5] Network Strategic Tool. URL: <https://www.eurocontrol.int/model/network-strategic-modelling-tool>.
- [6] SESAR (2021). D3.1.030- PJ.10-W2-93-V2 Final SPR-Interop /OSED v00.01.02.
- [7] SESAR (2021). D3.1.120 PJ.10-W2-93-V2 Final VALR v00.01.02.
- [8] Roscoe, A.H. (1984). Assessing pilot workload in flight. In AGARD Conference Proceedings Flight Test Techniques, Paris.
- [9] Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press.
- [10] Dehn, D. M. (2008). Assessing the Impact of Automation on the Air Traffic Controller: The SHAPE Questionnaires. Air Traffic Control Quarterly, Vol. 16(2) 127-146.
- [11] Lee, K.K., Kerns, K., Bone, R. & Nickelson, M. (2001). The Development and Validation of the Controller Acceptance Rating Scale (CARS): Results of Empirical Research. Proceedings of the 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar. Santa Fe, NM.
- [12] Dehn, D. M. (2008). Assessing the Impact of Automation on the Air Traffic Controller: The SHAPE Questionnaires. Air Traffic Control Quarterly, Vol. 16(2) 127-146.
- [13] Brooke, J. (1996). SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. Usability Evaluation In Industry, CRC Press.

## 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](http://www.dfs.de) > [Flugsicherung](#) > [F&E](#) > [Service](#)) sowie über das DFS Intranet verfügbar. 90 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

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

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

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

**Datum dieser Ausgabe:** 09.12.2021

### 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 © 2021 by DFS Deutsche Flugsicherung GmbH - Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder eines GM-Eintrages.



## Impressum

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung,  
Entwicklung und Validierung

### Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Günter Achatz, Bereichsleitung  
Planung & Innovation

### Redaktion:

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

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

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

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

Iris Filbrich  
Tel. +49 (0)6103 707 1131  
E-Mail: [iris.filbrich@dfs.de](mailto:iris.filbrich@dfs.de)

### Anschrift der Redaktion:

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

**Nachdruck nur mit Genehmigung.**



