

Schlussbericht

**Verbundvorhaben
Technologie für Flugverkehrsmanagement
in großen Strukturen**



Förderkennzeichen 20V1301C

Luftfahrtforschungsprogramm 2014 - 2017

(LuFoV - 1. Aufruf)



Neu-Isenburg, 26.10.2017

Zuwendungsempfänger:	Jeppesen GmbH Market & Solutions Research Frankfurter Str. 233 63263 Neu-Isenburg
Förderkennzeichen:	20V1301C
Vorhabenbezeichnung:	Technologie für Flugverkehrsmanagement in großen Strukturen (TeFiS)
Laufzeit:	01.01.2014 – 31.03.2017
Berichtszeitraum:	01.01.2014 – 31.03.2017
Autor	Dr. Niels Stark Dr. Thomas Feuerle Dipl.-Ing. Vivian Rösler
Datum	26.10.2017

Inhalt

1	Einführung	4
1.1	Abkürzungen	4
2	Kurze Darstellung	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	6
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
2.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde	7
2.4.1	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte	11
2.4.2	Angaben zur verwendeten Fachliteratur.....	11
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
2.5.1	Technische Universität Braunschweig (TUBS)	12
2.5.2	Deutsche Flugsicherung (DFS)	12
3	Eingehende Darstellung	13
3.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen	13
3.1.1	Kommunikationskonzept (Übersicht).....	13
3.2	Simulationskampagne bei der DFS	14
3.2.1	Versuchsablauf:	14
3.2.2	Szenario 1	15
3.2.3	Szenario 2	16
3.2.4	Szenario 3	16
3.3	Simulationskampagne bei Jeppesen.....	18
3.3.1	Zusammenfassung.....	18
3.3.2	Zielsetzung.....	18
3.3.3	Architektur.....	18
3.3.4	Ablauf.....	19
3.3.5	Durchführung der Simulation	24
3.3.6	Probandenkollektiv.....	26
3.3.7	Allgemeiner Ablauf	26
3.3.8	Versuchsszenarien	27
3.3.9	Szenario 1: Änderung der Übergabesequenz.....	27
3.3.10	Szenario 2: Ausweichflughafen	28
3.3.11	Szenario 3: Sperrung des Luftraums.....	29
3.4	Auswertung.....	30

3.4.1	Szenarien spezifische Betrachtung	31
3.4.2	Szenario 1: Änderung der Übergabesequenz	31
3.4.3	Szenario 2: Ausweichflughafen.....	33
3.4.4	Szenario 3a: Sperrung des Luftraums.....	35
3.4.5	Szenario 3b: Sperrung des Luftraums.....	38
3.5	Fazit.....	40
3.6	Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	41
3.7	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	43
3.8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	44
3.9	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	45
3.10	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	45
3.11	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	45

Anhang A: Erfolgskontrollbericht

A.1	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen
A.2	Wissenschaftlich technisches Ergebnis, Nebenergebnisse, gesammelte Erfahrungen
A.3	Fortschreibung des Verwertungsplanes
A.4	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben
A.5	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer
A.6	Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Jeppesen Flight Simulator	8
Abbildung 2:	Gate-to-Gate EFB	8
Abbildung 3:	Jeppesen Airline Operation Center.....	8
Abbildung 4:	A320 Simulator der TU Braunschweig	9
Abbildung 5:	Layout der A320 Komponenten.....	9
Abbildung 6:	ADAC Framework Kommunikationsarchitektur	9
Abbildung 7:	Flughafen-HMI für die Rollkontrolle	10
Abbildung 8:	Airport Layout	10
Abbildung 9:	Navigationsdisplay für den Piloten	10
Abbildung 10:	Kommunikation heute (oben) und Kommunikation TeFiS (unten)	13
Abbildung 11:	Kommunikation Szenario DFS – Sequenzwechsel	16
Abbildung 12:	Kommunikation Szenario DFS – Re-routing Schlechtwettergebiet/Sperrgebiet	17
Abbildung 13:	Systemarchitektur des Versuchsaufbau.....	19
Abbildung 14:	Kommunikation Szenario Jeppesen - Sequenztausch.....	21
Abbildung 15:	Indirekte Kommunikation Szenario Jeppesen - Sperrgebiet.....	21
Abbildung 16:	Direkte Kommunikation Szenario Jeppesen - Sperrgebiet	22
Abbildung 17:	Kommunikation Szenario Jeppesen - Ausweichflughafen	23

Abbildung 18: Luftverkehrssimulation der TU Braunschweig, 2 Ansichten	24
Abbildung 19: Auswahl einiger Details des EFBs mit der Software DAR-Pilot von Jeppesen	25
Abbildung 20: AOC Software zur Kommunikation und Anzeige von Luftfahrzeugen	26
Abbildung 21 Sektorloser Luftraum	27
Abbildung 22 Sequenzdiagramm Szenario 1.....	28
Abbildung 23 Sequenzdiagramm Szenario 2.....	29
Abbildung 24 Sequenzdiagramm Szenario 3a.....	30
Abbildung 25 Sequenzdiagramm Szenario 3b.....	30
Abbildung 26 Arbeitsbelastung Szenario 1 über die Versuchszeit.....	31
Abbildung 27 Situationsbewusstsein Szenario 1 über die Versuchszeit	32
Abbildung 28 NASA Task Load Index Szenario 1	32
Abbildung 29 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 1	33
Abbildung 30 Arbeitsbelastung Szenario 2 über die Versuchszeit.....	34
Abbildung 31 Situationsbewusstsein Szenario 2 über die Versuchszeit	34
Abbildung 32 NASA Task Load Index Szenario 2	35
Abbildung 33 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 2	35
Abbildung 34 Arbeitsbelastung Szenario 3a über die Versuchszeit.....	36
Abbildung 35 Situationsbewusstsein Szenario 3a über die Versuchszeit	36
Abbildung 36 NASA Task Load Index Szenario 3a	37
Abbildung 37 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 3a	38
Abbildung 38 Arbeitsbelastung Szenario 3b über die Versuchszeit.....	38
Abbildung 39 Situationsbewusstsein Szenario 3b über die Versuchszeit	39
Abbildung 40 NASA Task Load Index Szenario 3b	39
Abbildung 41 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 3b	40

1 Einführung

1.1 Abkürzungen

ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
AIP	Aeronautical Information Publication, Luftfahrthandbuch
ANSP	Air Navigation Service Provider
AOC	Airline Operations Center
AP	Arbeitspaket
AR & D	Advanced Research & Development
ASAS	Airborne Separation Assurance System
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
CCC	Crew Coordination Concept
DFS	Deutsche Flugsicherung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EFB	Electronic Flight Bag
ETA	Estimated Time of Arrival
FMS	Flight Management System
GUI	Graphical User Interface, graphische Benutzeroberfläche
ILS	Instrument Landing System, Instrumentenlandesystem
MFD	Multi-function Display, Multifunktionsdisplay
NM	Nautische Meile
NOTAM	Notice to Airmen
OCC	Operations Control Center
RD	Reference Document
RNAV	Area Navigation
RNP	Required Navigation Performance
RTA	Required Time of Arrival
RWY	Runway, Piste
SESAR	Single European Sky ATM Research
SOP	Standard Operating Procedures
TUBS	Technische Universität Braunschweig
TUDA	Technische Universität Darmstadt

2 Kurze Darstellung

2.1 Aufgabenstellung

In TeFiS wurde ein Konzept zur sektorlosen Flugverkehrskontrolle erarbeitet und in Simulationsläufen erprobt. Vor dem Hintergrund der verstärkten Nachfrage nach Direktverbindungen soll der damit verbundene weitere Anstieg der Flugbewegungen, der in der Vergangenheit über eine Verkleinerung der Kontroll-sektoren aufgefangen wurde, um die Arbeitslast der Fluglotsen auf einem sicheren Niveau zu halten, über ein neuartiges Konzept zur Flugverkehrskontrolle aufgefangen werden. Eine weitere Verkleinerung der Sektoren in bereits heute stark beflogenen Lufträumen führt zu oftmals nicht optimalen Routen- und/oder Höhenzuweisungen zwischen Start- und Zielflugplatz eines Fluges und wirkt sich zusätzlich durch den erhöhten Koordinationsaufwand und durch die kurze Verweildauer des Luftfahrzeuges im Sektor kontraproduktiv auf Effizienz und Sicherheit aus.

Das durchgeführte Projekt TeFiS adressiert diese Problematik in direkter Weise. Durch einen neuen Ansatz, in dem sich ein Fluglotsenteam einer reduzierten Anzahl an Luftfahrzeugen entlang einer längeren Strecke in einem sektorlosen Luftraum widmet, entfällt der Koordinationsaufwand an den Sektor-grenzen und der Planungshorizont verlängert sich entlang des Streckenfluges, oder deckt dieses Segment im Optimalfall sogar vollständig ab. Dieser vielversprechende Ansatz bringt fundamentale Änderungen des bisherigen Flugsicherungskonzeptes und der beteiligten Partner mit sich. Gleichzeitig eröffnen sich durch die längere Betreuung einzelner Luftfahrzeuge neue Möglichkeiten zur Realisierung taktischer Präferenzen der Luftverkehrsgesellschaften in Abstimmung mit der Flugsicherung.

Aus Sicht der Firma Jeppesen und damit aus Sicht eines Dienstleisters für Fluggesellschaften besteht der wesentliche Vorteil des Konzeptes in der verbesserte Planbarkeit eines optimierten Flugprofils für einzelne Flüge durch das betreuende Lotsenteam. Der Lotse nimmt mit diesem Konzept Teilbereiche der Aufgaben wahr, die in den aktuellen Betriebsverfahren durch den Dispatcher einer Fluggesellschaft bearbeitet werden. Abgesehen vom aufgegebenen und genehmigten Flugplan verfügt heute ein Lotsenteam jedoch nicht über Informationen zu taktischen Präferenzen einer Airline. Um seiner erweiterten Rolle gerecht werden zu können, muss folglich eine Kommunikationsschnittstelle kreiert werden, über die Informationen vom Operations Control Center (OCC) zur Flugsicherung zur weiteren Planung zu übermitteln werden können. Ein Zusatzaspekt des Jeppesen Beitrages stellt folglich die Schaffung der benötigten Schnittstelle dar, um schließlich eine Vereinbarung über eine 4D-Businessstrajektorie zu erreichen. Dies geschieht insbesondere vor dem Hintergrund der innerhalb SESAR und NextGen angestrebten stärkeren Vernetzung beteiligter ATM Instanzen.

Die Aufgaben von Jeppesen in diesem Zusammenhang bestanden zunächst gemeinsam mit den Partnern im Teilprojekt 1 in der Ausarbeitung des Kommunikationskonzeptes sowie des Gesamtkonzeptes zum sektorlosen ATM. Dabei strebte Jeppesen vorrangig die Bearbeitung der bordseitigen Erfordernisse zur Realisierung des Konzeptes an. Dies beinhaltete unter anderem die erforderliche technische Ausrüstung des Luftfahrzeuges sowie die Anforderungen an die bordseitige Darstellung der Lufträume, der zu fliegenden Trajektorie sowie der Elemente zur Kommunikation mit dem betreuenden Lotsenteam. Die identifizierten Elemente und Schnittstellen sollten im Zuge des Projektes erstellt und in ein Simulationssystem integriert werden, um anschließend einer Validierung und einer abschließenden Auswertung unterzogen werden zu können.

2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde bei Jeppesen durch das Team „Market & Solutions Research“, (heute „Digital Aviation Research & Rapid Development, DAR&RD“) durchgeführt. Das Team ist bereits seit vielen Jahren der Innovationstreiber auf dem Gebiet der Transformation der Luftfahrtdaten vom Papier in das digitale Zeitalter. Dabei wurden die Schritte der Digitalisierung, der Vernetzung der Systeme sowie der Bereitstellung der Echtzeit- Information an Bord und Boden erfolgreich absolviert. Abgeschlossene LuFo Projekte wie WFF, iPort und HETEREX waren hier richtungsweisend. Seit einiger Zeit erfolgt die funktionale Weiterentwicklung und Integration der Produkte und Services des kompletten Boeing Digital Aviation Portfolios zur Umsetzung einer ganzheitlichen Betriebsoptimierung für die zukünftige, voll-digitale Airline. Dabei integrieren sich die in TeFiS entwickelten Verfahren der Koordinierung von Flugprofilen mit der Flugsicherung in die Betriebsdomäne der Flugplanung und Flugverfolgung, welche eine der zentralen Säulen im Produkt- und Serviceportfolio für die Jeppesen Kunden darstellt.

Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung arbeitet weiterhin eng mit führenden Forschungseinrichtungen und Universitäten zusammen, um die Kompetenz in vielen Bereichen der Luftfahrt kontinuierlich zu erweitern. Außerdem ist Jeppesen Mitglied der wichtigsten internationalen Standardisierungsgremien und hat die Standards für Aeronautische Informationen, Austauschformate sowie Rollanzeigen und deren zugrundeliegende Datenbanken maßgeblich mitgestaltet.

In den letzten fünf bis sechs Jahren hat DAR&RD an zahlreichen nationalen und europäischen Forschungsprojekten teilgenommen und konnte die hier gewonnenen Erfahrungen sinnvoll in TeFiS einbringen und damit die Arbeiten zur Erreichung der Ziele effizient voranbringen.

Ergänzend dazu ist der Firmensitz in Neu-Isenburg zuständig für die Erfassung, Verarbeitung, Standardisierung und zeitgerechte Auslieferung aeronautischer Daten in Europa, dem mittleren Osten und Asien an Fluggesellschaften, Betreiber von Geschäftsflugzeugen sowie an Privatpiloten. Das Geschäftsfeld umfasst weiterhin zahlreiche Dienstleistungen für die effizientere Abwicklung des Flugbetriebes sowie Produkte und Dienstleistungen für Transport und Logistik.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die geplante Laufzeit des Verbundprojekts betrug 39 Monate. Der Projektstart war am 01.01.2014 und das Projektende am 31.03.2017. Alle Arbeiten konnten innerhalb des Projekts ohne Verzögerung über die Projektlaufzeit hinaus durchgeführt werden. Somit ist für die Jeppesen GmbH der 31.03.2017 das offizielle Datum des Projektendes.

Im 2. Quartal des Jahres 2015 wurde ein Aufstockungsantrag gestellt und bewilligt. Dies geschah aus den wie folgt ausgeführten Gründen. Nachdem in Arbeitspaket 1.1 das Konzept zur Kommunikation zwischen den beteiligten Instanzen Pilot – Fluglotse – Dispatcher fertiggestellt wurde, stellte sich heraus, dass zur Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins im Cockpit die Prozesse zur Kommunikation zwischen Luftfahrzeug und Flugsicherung sowie zwischen Luftfahrzeug und Airline Operation Center nur im Rahmen eines vollständigen Crew Koordination Konzepts umfassend untersucht werden können um belastbare Ergebnisse zu erhalten. Derartige Untersuchungen war aber bis dato nicht vorgesehen.

Die Simulationseinrichtungen des Projektpartners DFS sowie die dort geplanten Evaluationen ließen ferner Untersuchungen mit der oben genannten Zielsetzung nicht zu, da einerseits die Pseudo-Pilotenarbeitsplätze keine Crew-Koordination in quasi realer Umgebung abbilden können, andererseits die Kommunikationstools zwischen Fluggesellschaft und Flugsicherung sich nicht ohne erheblichen Zusatzaufwand um die Aspekte strategischer Verkehrsplanung im Sinne der Kunden, die durch die sektorlose Kontrolle verstärkt möglich wird, erweitern ließen.

Zusätzliche, neue Ziele wurden daher definiert. Jeppesen verfügt im eigenen Hause über einen Airline Operations Simulator sowie einen B737 Flugsimulator. Gleichzeitig besitzt die TU Braunschweig (TUBS) Systeme zur Luftverkehrssimulation inklusive der Lotsenarbeitsplätze. Zielsetzung war nun, beide Systeme lokal bei Jeppesen zu einem repräsentativen System zu verbinden, das die am Abstimmungsprozess der sektorlosen Kontrolle beteiligten ATM Instanzen vollständig abbildet. Dadurch ließen sich die Untersuchungen zur Crew Koordination und zur Kommunikation der Airline Präferenzen störungsfrei durchführen, ohne mit der Zielsetzung der DFS Untersuchung (Kapazitätssteigerung & Sicherheit) zu interferieren. Das System sollte zudem so aufgebaut werden, dass am Ende des TeFiS Projektes eine Live-Demo möglich wurde.

Gegenstand dieses Aufstockungsantrages waren somit die folgenden, über die ursprünglich in TeFiS formulierten Ziele hinausgehenden detaillierteren Zielsetzungen:

- Untersuchung des vollständigen operationellen Prozesses zur Planung, Kommunikation und Realisierung der zu koordinierenden Flugprofile über alle am Abstimmungsprozess beteiligten Instanzen hinweg. Dies beinhaltet:
 - das Airline Operations Center als Planungsinstanz und Ursprung der Präferenzen,
 - die Flugsicherung in ihrer Doppelfunktion zur Sicherung der Staffelung und gleichzeitig als Dienstanbieter, der bemüht ist, möglichst viele der Präferenzen übergreifend zu koordinieren und zu ermöglichen und schließlich
 - das Luftfahrzeug, welches über Unterstützungssysteme und angepasste Crew Verfahren verfügen muss, um die vereinbarten Flugprofile autonom und sicher einhalten zu können.
- Untersuchung der veränderten operationellen Verfahren (SOPs = *Standard Operating Procedures*) und eines möglicherweise zu adaptierenden *Crew Coordination Concepts* im Cockpit des Flugzeuges aufgrund der veränderten Kommunikation mit der Flugsicherung.
- Aufbau eines repräsentativen ATM Simulationssystems durch Zusammenschluss zweier bestehender Systeme von Jeppesen und der TU Braunschweig, das die Untersuchung der oben genannten Zusatzaspekte ermöglicht und fortwährend als Demosystem sowie als Grundlage weiterführender Untersuchungen auch in späteren Projekten dienen wird.

2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Das Konzept der sektorlosen Air Traffic Control ist neuartig. Daher existieren in der Wissenschaft hierzu noch wenige Studien zur Erforschung des Konzeptes. Bisher ist kein ganzheitliches Simulationssystem bekannt, das es einerseits erlaubt, die bordseitigen Auswirkungen im Cockpit zu untersuchen und andererseits die neuen Möglichkeiten der durch TeFiS verbesserten Koordination zwischen der

Flugsicherung als Service Provider und den Airlines als Kunde dieser Services zu simulieren und damit validierfähig zu machen.

Jeppesen verfügt am Standort Neu-Isenburg bereits über ein experimentelles Cockpit, welches in der Vergangenheit schon in anderen LuFo Projekten wie WFF und iPort zum Einsatz kam (siehe Abbildung 1). Das Cockpit entspricht in seiner Geometrie dem eines Airbus A320. Die Avionik-Komponenten können nach Bedarf entweder auf eine Boeing- oder Airbuskonfiguration angepasst werden. Für TeFiS ist der Flugzeugtyp irrelevant, solange es sich um ein kommerzielles Cockpit handelt. Der Jeppesen Flight Simulator lässt sich mit den jeweilig verfügbaren Prototypen des Electronic Flight Bag einrüsten. In TeFiS kam wie geplant die neueste Version der in iPort entwickelten und in HETEREX weiterentwickelten Gate-to-Gate-Applikation zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 1: Jeppesen Flight Simulator



Abbildung 2: Gate-to-Gate EFB

Weiterhin wurde bei Jeppesen im vergangenen Jahr die Umgebung eines Airline Operations Center AOC (vgl. Abbildung 3) nachgebildet. Dort sind verfügbare Jeppesen-Produkte zur Flugplanung sowie zur Flotten- und Creweinsatzplanung installiert. Die



Abbildung 3: Jeppesen Airline Operation Center

offene Simulationsumgebung erlaubt es, vorhandene Module in die Kommunikationsinfrastruktur einzubinden. Die bidirektionale Verbindung zwischen AOC und Cockpit ist bereits vorhanden, sodass hier das vollständig vorbereitete Briefing Paket vom AOC an das EFB im Cockpit gesendet werden kann. Derzeit fehlt jedoch noch der dritte Partner im ATM System, nämlich die Instanz der Flugsicherung. Durch die Einbindung der Luftverkehrssimulation der TUBS wird diese Lücke geschlossen und es werden ganzheitliche Untersuchungen bezüglich der jeweiligen operationellen Konzepte bei jeder Instanz im sektorlosen Luftraum der TeFiS Thematik ermöglicht.

Das Institut für Flugführung der TU Braunschweig hat im Zuge verschiedener Projekte (z.B. FP7-Projekt ACROSS sowie LuFo4 iPort) verschiedene Schnittstellen zur Verbindung von diversen Arbeitsstationen (Pilot, Lotse) geschaffen, um die vorhandenen Cockpit-Simulatoren Diamond DA42, Grob 115 und des Airbus A320 miteinander zu verbinden. Außerdem ist es mittels der implementierten Schnittstellen möglich, weitere Arbeitspositionen wie ATC in die Simulationsumgebung zu integrieren. Die Umgebung (Simulatoren) sind über ein Netzwerk miteinander verbunden. Damit wird ermöglicht, dass z.B. auf einem Radar-Bildschirm des Lotsen die aktuellen Positionen der Luftfahrzeuge angezeigt werden.



Abbildung 4: A320 Simulator der TU Braunschweig

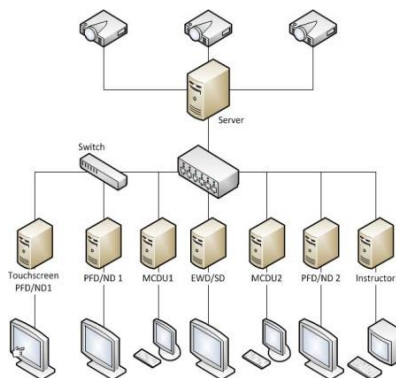


Abbildung 5: Layout der A320 Komponenten

Der A320-Simulator der TU Braunschweig ist in Abbildung 4 abgebildet. In Abbildung 5 ist das schematische Layout der A320 Komponenten wiedergegeben.

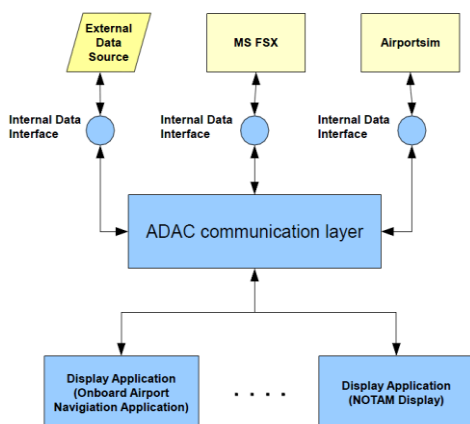


Abbildung 6: ADAC Framework Kommunikationsarchitektur

Im Zuge der Projekte wurde ein Framework als Grundlage für alle weiteren Applikationen, welche in die Simulationsumgebung einbezogen werden sollen, erstellt (A320 Display And Communication, ADAC). Dieses Framework wurde entwickelt um einen einheitlichen und weiterverwertbaren Schnittstellen-Quellcode zur Verfügung zu haben, siehe Abbildung 6.

Das ADAC Framework wurde als C++ Bibliothek angelegt und in 2 Hauptmodule unterteilt. Das erste Modul ist verantwortlich für alle mit einer Graphischen Nutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI) verbundenen Funktionalitäten. Das zweite Modul deckt den

Austausch von Daten innerhalb des Simulationsnetzwerkes ab. Mit Hilfe dieser Simulationsumgebung konnte am IFF eine breite Erfahrungsbasis aufgebaut werden, welche in das Projekt TeFiS einfließen können.

Ein weiteres Beispiel von vorhandenen bzw. bislang genutzten Modulen ist z.B. das Display für den Rollverkehrsleuten, das mit Industriepartnern für den Flughafenbereich entwickelt wurde (siehe Abbildung 7).

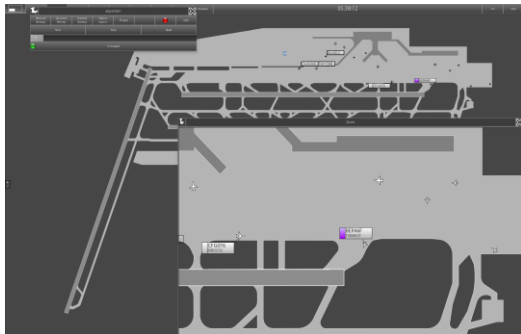


Abbildung 7: Flughafen-HMI für die Rollkontrolle

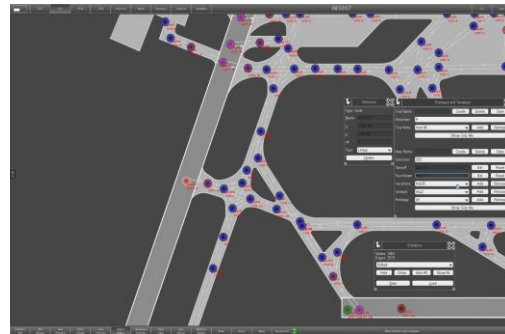


Abbildung 8: Airport Layout

Neben diesem Lotsendisplay existiert eine Airport Traffic Simulation, welche es bereits ermöglicht den Verkehr am Boden zu visualisieren und sowohl in Realzeit als auch in Schnellzeit zu simulieren (Abbildung 8).



Abbildung 9: Navigationsdisplay für den Piloten

Innerhalb der bestehenden Flughafensimulation ist es weiterhin möglich verschiedene Flughafen Layouts einzubinden und Flughafenverkehr und dort ablaufende Prozesse (z.B. Turn-Around) abzubilden. Der Vorteil der Simulation ist, dass zum Betreiben keine Pseudopiloten notwendig sind sondern lediglich die Lotsenposition besetzt sein muss. Dennoch ist es möglich, externe Cockpit-Simulatoren (wie z.B. den A320) hinzuzufügen und die Positionsdaten an die Lotsensimulation zu senden. Teile dieser Simulation können für TeFiS genutzt werden, weil jede Komponente der Simulationsumgebung eigenständig ist (Flugpläne, Luftfahrzeugdaten). Auch cockpitseitig wurden seitens der TU Braunschweig Implementierungen und Visualisierungen vorgenommen, sodass neben einem Lotsendisplay auch ein Pilotendisplay entwickelt wurde, welches den Flughafen und die flugzeugspezifischen Rollwege visualisiert (vgl. Abbildung 9).

Aus diesen Erfahrungen heraus und der vorhanden Software wird es möglich sein, eine Simulationsumgebung zu schaffen, die in das Jeppesen-Netzwerk (Cockpit und Airline Operation Center, AOC) eingebunden werden kann.

Einige Vorarbeiten wurden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt unter anderem im Rahmen des LuFo IV Projektes HETEREX unter Beteiligung von Jeppesen durchgeführt.

Neben der Zusammenführung und Bereitstellung aeronautischer Daten konnte Jeppesen darüber hinaus insbesondere die eigene Expertise im Bereich der cockpitseitigen Flugführung für alle Flugphasen mithilfe von innovativen Zusatzdisplays einbringen, die neben statischen Informationen verstärkt auch nach Relevanz gefilterte, dynamische Daten anzeigen und somit grundsätzlich über Möglichkeiten zur Anzeige flugsicherungsbedingter oder betrieblich bedingter Flugplanänderungen verfügen.

2.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte

Im Zuge des Projektes wurde ab der zweiten Simulationskampagne der LDACS-Simulator der Deutschen Flugsicherung GmbH in Langen eingesetzt.

2.4.2 Angaben zur verwendeten Fachliteratur

- [1] J. K. Wiebke Drop, „Funkspruchzuordnung bei Weitbereichssprachkommunikation in einem sektorlosen Luftraum,“ *Innovation im Fokus*, pp. 17-27, 2016.
- [2] J. Konopka, „Quantitative Analyse des erwarteten Bord-Boden-Kommunikationsumfangs bei sektorloser Flugverkehrskontrolle,“ *Innovation im Fokus*, Nr. 1/2015, pp. 43-50, 2015.
- [3] T. Hereth, S. Fladerer, C. Schmand und J. Konopka, „Modifiziertes Air Situation Window für sektorlose Flugverkehrskontrolle,“ *Innovation im Fokus*, pp. 29-36, 2016.
- [4] J. Schütz, Interviewee, [Interview]. 2014.
- [5] A. Scheumeister, Interviewee, [Interview]. 13 06 2014.
- [6] H. Flühr, *Avionik und Flugsicherungstechnik*, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2012.
- [7] „Skybrary,“ 2014. [Online]. Available: http://www.skybrary.aero/index.php/Aircraft_Communications,_Addressing_and_Reporting_System. [Zugriff am 10 12 2014].
- [8] TU Dresden, Institut für Luftfahrt und Logistik, *Communication-Surveillance*, Dresden, 2011.
- [9] Bundesministerium für Verkehr, „Luftverkehrsordnung (LuftVO),“ o.A., 2012.
- [10] EUROCONTROL, „ACAS II,“ Brüssel, 2014.
- [11] Lotsen des UAC Karlsruhe, *Befragung von Lotsen im UAC Karlsruhe durch Herrn Plewa*, Karlsruhe, 2014.
- [12] EUROCONTROL, „A Guide to the Network Manager Operations Centre,“ Brüssel, 2014.
- [13] TU Dresden, Institut für Luftfahrt und Logistik, *Air Traffic Flow Management*, Dresden, 2011.

- [14] TU Dresden, Institut für Luftfahrt und Logistik, Wieland Richter, Dresden, 2011.
- [15] B.- u. W. Bundesministerium für Verkehr-, „Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung der Luftfahrzeuge (FSAV),“ 26.11.2004.
- [16] SESAR, „SESAR,“ [Online]. Available: <http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/factsheet-swim.pdf>. [Zugriff am 04 09 2014].
- [17] M. Sajatovic, M. Ehammer und M. Schnell, L-DACS1 System Definition Proposal: Deliverable D2, Brüssel: EUROCONTROL Headquarters, 2009.
- [18] Europäische Kommission, *DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 923/2012*, o.A., 2012.
- [19] EUROCONTROL, „Air-ground Communication Safety Study,“ Brüssel, 2004.
- [20] Y. Ming, „Airliners,“ [Online]. Available: <http://www.airliners.net/photo/British-Airways/Airbus-A320-211/1245797/L/>. [Zugriff am 05 09 2014].
- [21] Unbekannt, „Inside a Operations Control Center: The Brain of an Airline,“ [Online]. Available: <http://myfiftypercent.net/2013/11/06/inside-a-operations-control-center-the-brain-of-an-airline/>. [Zugriff am 13 05 2014].

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Realisierung der beschriebenen Ziele von TeFiS arbeitete Jeppesen auf regelmäßiger Ebene hauptsächlich mit den folgenden Partnern zusammen:

2.5.1 Technische Universität Braunschweig (TUBS)

Das Institut für Flugführung (IFF) der TU Braunschweig arbeitete in TeFiS im Unterauftrag zu Jeppesen. Dabei unterstützte das IFF Jeppesen bei der Generierung der Konzepte zum Informationsaustausch zwischen Flugsicherung, Luftfahrzeug und Einsatzleitstelle der Fluggesellschaft. Weiterhin arbeitete die TUBS Jeppesen bei der Erstellung der relevanten Prototypen zu und brachte im Zuge der Erweiterung um das Simulationssystem bei Jeppesen die institutseigene Luftverkehrssimulation ein.

2.5.2 Deutsche Flugsicherung (DFS)

Jeppesen arbeitete mit der DFS auf konzeptioneller Ebene und bei der Erstellung des Kommunikationskonzeptes und des Gesamtkonzeptes „sektorloses ATM“ zusammen. Auf technischer Ebene wurden die Simulationskampagnen sowie die technische Teilintegration von Systeme zur Simulation der beteiligten Kommunikationspartner AOC, ATC und Pilot gemeinsam bearbeitet.

3 Eingehende Darstellung

Im Nachfolgenden werden die im Projekt erarbeiteten Aspekte zum (flugzeugseitigen) Kommunikationskonzept dargelegt.

3.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

3.1.1 Kommunikationskonzept (Übersicht)

Während in der Konzeptphase des Projektes zunächst ein einheitliches und gesamtheitliches Kommunikationskonzept (Simulationen ausschließlich bei der DFS) vorgesehen war, zeichnete sich während

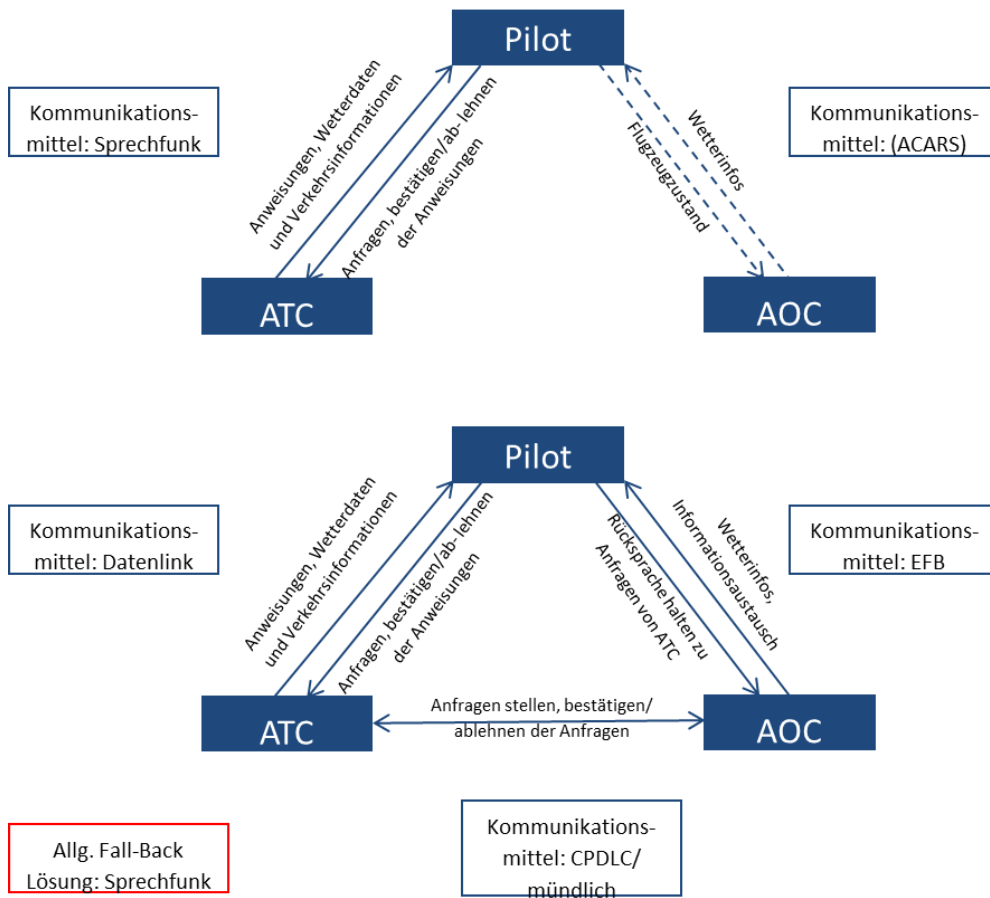


Abbildung 10: Kommunikation heute (oben) und Kommunikation TeFiS (unten)

des Projektzeitraumes ab, dass es zwei Kommunikationskonzepte geben muss. Es wurden entsprechend eins zur Anwendung bei der Flugsicherung entwickelt und eines, welches in der Simulationsumgebung von Jeppesen zum Tragen kam. Das lag darin begründet, dass das Augenmerk der Flugsicherung bei der Einbindung der Fluglotsen lag und eine Eingliederung von Piloten und einem AOC technisch nicht umsetzbar war. Somit konnte der Fokus aber auf eine Machbarkeitsstudie gelegt werden, bei dem die Lotsen und deren zukünftigen Arbeitsweisen genauer untersucht werden konnten. Bei Jeppesen hingegen spielte das AOC und die Kommunikation mit den Piloten im sektorlosen

Luftraum die Hauptrolle. Es weichen also somit auch die einzelnen Szenarien des Kommunikationskonzeptes bei Jeppesen und der DFS voneinander ab, sind aber ganz im Speziellen auf das jeweilige Spezialgebiet abgestimmt wurden, sodass die bestmöglichen Ergebnisse erzielt wurden.

Da sich wie bereits erwähnt während des Projektes herausstellte, dass bei der DFS die Eingliederung eines AOC in dem Umfang wie es geplant wurde nicht zu realisieren war, wurde während der Projektlaufzeit ein Aufstockungsantrag gestellt, welcher es erst ermöglichte, die detaillierten Untersuchungen zum AOC und der Piloten im sektorlosen Luftraum durchzuführen. Somit wurden im Juni 2016 auch bei Jeppesen in Neu-Isenburg Simulationsversuche absolviert. Hier eine kurze Übersicht zu den Szenarien:

Szenario	Problematik	Trigger	Simulation DFS	Simulation Jeppesen
1	Sequenztausch	AOC	simuliert	simuliert
2	Technischer Defekt im LFZ	Pilot	nicht simuliert	simuliert
3	Luftraumsperrung / Schlechtwettergebiet	ATC	simuliert	simuliert

Tabelle 1: Überblick Simulationsszenarien

Die Kommunikation und die Szenarien und deren Inhalt werden nachfolgend im Detail erläutert. Nachdem zu Beginn des Projektes zunächst eine Gegenüberstellung des Ist-Zustandes hinsichtlich der Kommunikation im Luftverkehr und des zukünftigen Zustandes als Konzept aufgestellt wurden, wurden 2016 im Rahmen des Projektes Simulationsversuche durchgeführt

3.2 Simulationskampagne bei der DFS

Bei der DFS stand im Vordergrund, wie sich die Lotsen eine zukünftige Kommunikation mit einem AOC vorstellen können. Hier wurde bereits am Anfang des Projektes gesagt bzw. nach Gesprächen festgestellt, dass eine direkte Kommunikation und demnach die Kommunikation von AOC direkt an den Lotsen, welcher das eigene Luftfahrzeug betreut, abgelehnt und für nicht praktikabel erachtet wurden. Aus diesem Grund wurde die „direkte“ Kommunikation über einen Wachleiter simuliert. Dieser sitzt auch jetzt schon im Center und kann zukünftig die Anfragen von AOC entgegennehmen und an die Lotsen weiter geben. Der Vorteil war, dass der Wachleiter bereits als „Filter“ diente und nur noch wirklich relevante Aspekte an die Lotsen weitergeben wurden. Es wurden insgesamt 2 Szenarien bei der DFS simuliert.

3.2.1 Versuchsablauf:

Es wurden bei der DFS jeweils 2 Simulationsdurchläufe durchgeführt. Ein Simulationsdurchlauf belief sich auf ca. 1 Stunde. Dabei wurden verschiedene Sequenzänderungen angefragt und Sperrgebiete bzw. Schlechtwettergebiete aktiviert. Eine intensive Einarbeitung der Lotsen entfiel, weil Sie bereits den Umgang mit den Simulatoren gewohnt waren und die DFS bereits verschiedene Kampagnen mit den Lotsen durchgeführt hatte.

Die Lotsen erhielten zu Beginn ein kurzes Briefing bei dem sowohl die Szenarien vorgestellt als auch die Kommunikationswege erläutert wurden. Im Anschluss daran wurde Ihnen die Datenerhebung erläutert. Die Auswertung der Versuche bzw. die Datenerhebung verliefen sowohl während der Szenarien also auch im direkten Anschluss mittels Fragebögen. Zusätzlich wurden Fragen ausgearbeitet, welche im Anschluss eines Simulationsdurchlaufs in der Gruppe diskutiert wurden.

3.2.2 Szenario 1

In Szenario 1 wurde untersucht inwiefern eine Luftfahrzeugpriorisierung durch das AOC im sektorlosen Luftraumkonzept umsetzbar/integrierbar ist, wobei das Hauptaugenmerk bei den Lotsen lag. Hier gab es grundlegend zwei Wege auf die kommuniziert wurde:

1. Direkte Kommunikation (AOC-ATC)
2. Indirekte Kommunikation (AOC-Wachleiter-ATC)

Aber wie bereits erwähnt wurde nur der zweite, indirekte Weg, bei der Simulation der DFS umgesetzt.

Bei diesem Konflikt handelte es sich um einen Airline-internen Konflikt, d.h. weder Pilot noch ATC hat das Hintergrundwissen, dass hier ein Sequenztausch durch das AOC favorisiert wurde.

Ausgangslage:

Ein Luftfahrzeug (Flug 1) der Airline hatte bis zum Top of Descent eine Verspätung aufgebaut, welche so hoch war, dass mit Ankunft am Flughafen Anschlussflüge nicht mehr von den Transferpassagieren im Luftfahrzeug erreicht werden konnten (es entstehen hohe Kosten für die Airline). Ein anderes Luftfahrzeug (Flug 2) der Airline mit dem gleichen Zielflughafen befand sich ebenfalls kurz vor dem Top of Descent und war entsprechend des Flugplans pünktlich. In dem bisher pünktlichen Luftfahrzeug befanden sich hingegen nur wenige Transferpassagiere. Mit diesem Hintergrundwissen der Luftverkehrsgesellschaft, wie viele Transferpassagiere in welchem Luftfahrzeug saßen und welche Verspätung die Luftfahrzeuge hatten, ist es naheliegend, dass die Reihenfolge der beiden Luftfahrzeuge vor dem TOD und damit kurz vor dem Einleiten des Sinkfluges getauscht wurde. Die Priorisierung der beiden Luftfahrzeuge sollte also zu Gunsten des verspäteten Luftfahrzeuges erfolgen.

Um einen Flug zu priorisieren musste ein entsprechend anderer Flug der gleichen Airline verzögert werden, sodass kein Ungleichgewicht/Unstimmigkeiten und Bevorzugungen zwischen den Fluggesellschaften herrschten. Insofern bei der Priorisierung keine Luftverkehrsgesellschaft benachteiligt wurde, kann zu Gunsten der Passagiere und demnach auch dem Ansehen der Luftverkehrsgesellschaft gehandelt werden.

Lösungsstrategie:

Um diesen Airline-internen Konflikt, welcher durch die Verspätung von Flug 1 entstanden war, zu lösen, erfolgten Absprachen zwischen AOC, Pilot und ATC. Dies erfolgte mündlich durch das AOC an den Wachleiter, welcher die zuständigen Lotsen informierte. Die Lotsen eruierten das Problem und versuchten zu Gunsten der Airline eine Lösung zu finden. Das war allerdings nicht immer möglich, da Konflikte auch oft sehr kurzfristig auftraten bzw. die Zeitspanne bis zum Austritt aus dem sektorlosen Luftraum nicht ausreichte, um einen entsprechenden Sequenzwechsel durchzuführen. Detaillierte Ergebnisse zu diesem Szenario und der Realisierbarkeit des Kommunikationsweges finden sich später im Kapitel.

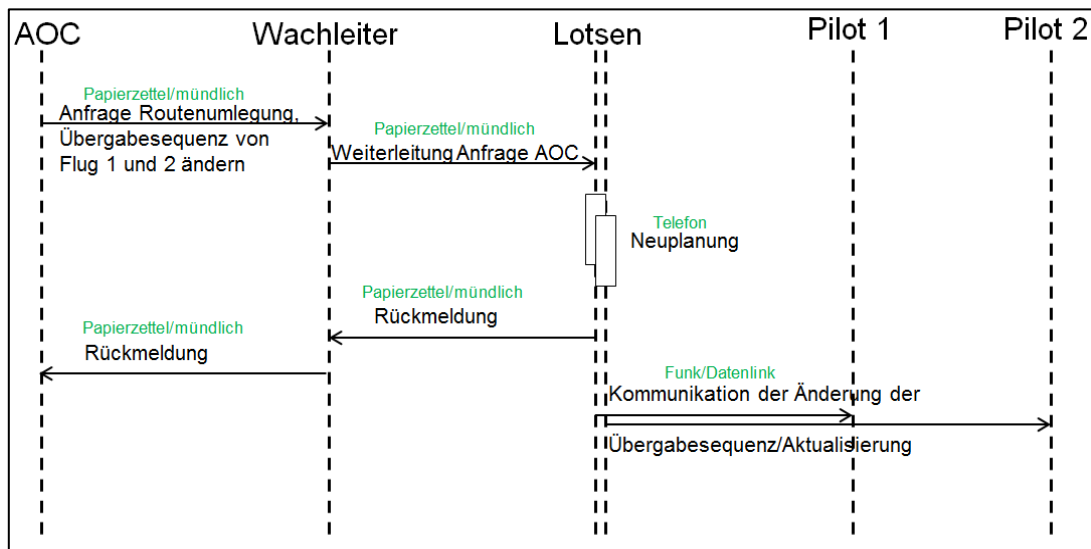


Abbildung 11: Kommunikation Szenario DFS – Sequenzwechsel

Neben dem gerade erwähnten Szenario, war es möglich noch ein weiteres Szenario bei der DFS zu simulieren und damit auch einen weiteren Kommunikationsweg (vgl. Abbildung 11) zu untersuchen.

3.2.3 Szenario 2

Szenario 2 wurde lediglich bei Jeppesen simuliert und wird weiter unten im vorliegenden Dokument erläutert.

3.2.4 Szenario 3

In Szenario 3 lag der Fokus bei den Eingriffsmöglichkeiten einer Luftraumsperrung durch des AOCs. Prinzipiell gab es drei Möglichkeiten wie man in diesem Szenario kommunizieren konnte:

1. Direkte Kommunikation (ATC-AOC)
2. Indirekte AOC-Kommunikation (ATC-Pilot-AOC)
3. Indirekte ATC-Kommunikation (Wachleiter-AOC-ATC)

Ausgangslage:

Auf Grund von Überlastung/schlechtem Wetter wurde durch die Air Traffic Control ein bestimmtes Gebiet im Luftraum gesperrt (im Szenario im Norden des sektorlosen Luftraums). Die eigentliche Flugroute des Luftfahrzeuges 1 im deutschen sektorlosen Luftraum konnte nicht mehr realisiert werden, da genau diese Route durch den gesperrten Luftraum verlief. Die Flugsicherung musste demnach zwangsläufig Anweisungen an die Piloten des Fluges 1 zum Umfliegen des gesperrten Luftraums geben.

Der Flug 1 hatte mit dem Einfliegen in den sektorlosen Luftraum von dem für ihn zuständigen Lotsen ein Direct vom Einflugpunkt (südlich) zum Ausflugpunkt (nördlich) bekommen und befand sich seit wenigen Minuten im sektorlosen Luftraum.

Auf Grund dieser Tatsache bestand genügend Planungszeit, um dem AOC die Möglichkeit zu geben, einen Routenwunsch um das Sperrgebiet herum auszuarbeiten. Bei diesem Szenario sollten bei der DFS drei mögliche Kommunikationswege untersucht werden. Der direkte Weg wurde aus bereits genannten Gründen nicht untersucht. Dafür die anderen beiden Wege: von ATC über den Piloten,

welcher sich mit seinem AOC kurzschließt und der Kommunikationsweg über den Wachleiter zum AOC, welches entsprechende Optionen an den Lotsen weitergab.

Da es sich bei diesem Szenario um eine Flugsicherungsmeldung handelte, musste nicht wie bei Szenario 1 die Luftverkehrsgesellschaft einen zusätzlichen Flieger im Luftraum verspäten/verfrühen um ein eventuelles Ungleichgewicht zwischen den Airlines auszugleichen. Insofern eine Umrouting zugunsten der Luftverkehrsgesellschaft von Flug 1 ausfiel profitiert die Airline andernfalls und das trat in den meisten Fällen ein, kam es zu Verspätungen und demnach zusätzlichen Kosten für die LVG, sodass sie an dieser Stelle die Chance bekommen sollten zu entscheiden, welcher Flugweg die wenigsten Unkosten bringt, vorausgesetzt es ist flugsicherungsseitig umsetzbar.

Lösungsstrategie:

Um diesen frühzeitig bekannten luftraumseitigen Konflikt zu lösen, mussten die Lotsen über den Wachleiter diesen Umstand den betroffenen AOCs und/oder Luftfahrzeugen und damit Piloten bekanntgeben, sodass die Piloten und AOCs reagieren konnten.

Wie beschrieben gab es zu Simulationsbeginn mehrere Möglichkeiten der Kommunikation. Während des Versuches gab es allerdings nur einen wirklich praktikablen Weg. Dieser verlief vom Lotsen direkt zum Piloten. Diese haben gerade bei einer Schlechtwettersituation den besten Blick aus dem Cockpit und können ein Re-routing entsprechend favorisieren. Das AOC sowie die Lotsen haben lediglich ihren Radarausschnitt und können die Situation nur abschätzen aber nicht bestmöglich einschätzen. Zudem stellte sich heraus, dass die Entscheidungsfindung sehr kurzfristig erfolgen musste und eine Kommunikation von Lotsen zu Wachleiter und anschließend zum AOC zu viel Zeit in Anspruch genommen hat. Sodass schlussendlich die Lotsen die aus ihrer Sicht beste Entscheidung getroffen haben. Auch an dieser Stelle finden sich die detaillierten Ergebnisse im weiteren Kapitelverlauf.

Die Kommunikation für das Re-routing bei schlechtem Wetter oder einem Sperrgebiet sah folgendermaßen aus:

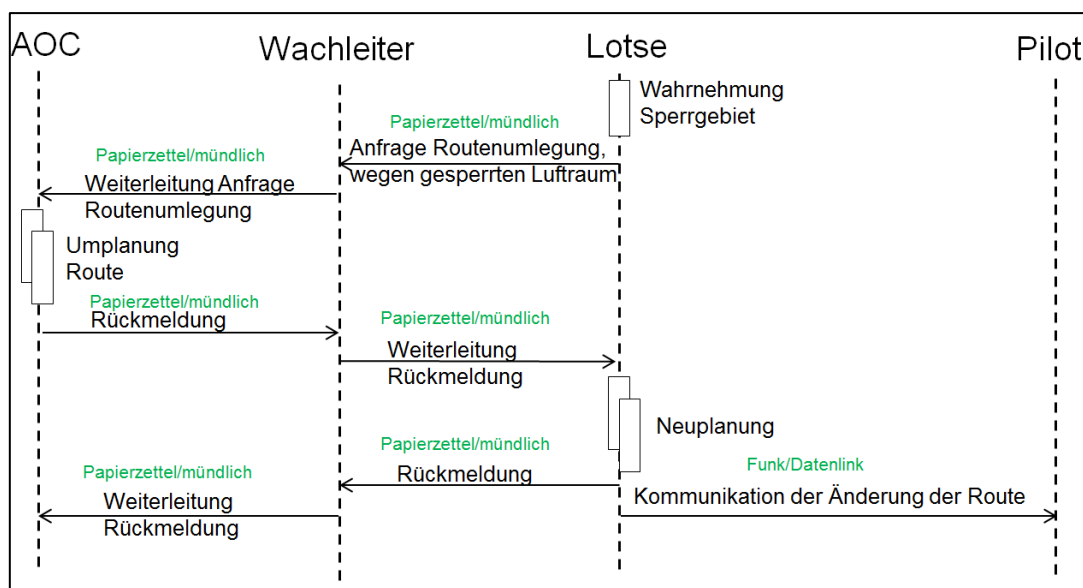


Abbildung 12: Kommunikation Szenario DFS – Re-routing Schlechtwettergebiet/Sperrgebiet

Dieser Ablauf, wie in Abbildung oben zu sehen, wurde wie bereits erwähnt während der Simulationskampagne verkürzt, indem nur ATC und die Piloten Absprachen getroffen haben.

3.3 Simulationskampagne bei Jeppesen

3.3.1 Zusammenfassung

Im Sommer 2016 wurde bei Jeppesen eine Versuchskampagne durchgeführt. Zielsetzung dieser Kampagne war die Validierung des Simulationskonzepts mit einem besonderen Fokus auf die Arbeitsabläufe für den Dispatcher als auch für den Piloten. Die Simulationsumgebung wurde bei Jeppesen erstellt und bestand im Wesentlichen aus den Arbeitsplätzen für den Fluglotsen, den Dispatcher sowie einen Cockpit-arbeitsplatz für den Piloten.

Die Versuche gliederten sich in drei Szenarien welche Referenz Situationen aus dem Kommunikationskonzept evaluieren sollten. Es wurden eine Änderung der Übergabesequenz, die Auswahl eines Ausweichflughafens sowie die Sperrung eines Luftraums als Szenarien betrachtet. Hierbei war bedacht das die Initiierung der Umplanung jeweils von anderen Aktoren der Simulation ausgeht.

Insgesamt wurden vier Versuchsdurchläufe durchgeführt und Daten über das Situationsbewusstsein, die Arbeitsbelastung sowie allgemeines Feedback aufgenommen.

3.3.2 Zielsetzung

Ziel der Versuche war es die operationellen Anforderungen an Piloten und Dispatcher zu evaluieren. Hierzu wurde eine Systemarchitektur umgesetzt, welche die Datenkommunikation zwischen den Arbeitsplätzen im Cockpit, bei der Fluggesellschaft sowie bei der Flugsicherung abbildet.

3.3.3 Architektur

Zur Umsetzung der Versuchsszenarien wurde eine Systemarchitektur konzipiert und bei Jeppesen in Neu-Isenburg umgesetzt. Die Zielsetzung der Architektur war die Systeme der Flugsicherungssimulation entwickelt von der TU Braunschweig, operationelle Dispatch Systeme sowie die Flugsimulation wie auch die Piloten EFB Applikation miteinander zu verknüpfen. Die Systemarchitektur orientiert sich hierbei an der Umsetzung der entwickelten Szenarien. Sie sollte nicht als Referenzarchitektur für eine Realisierung des entwickelten Kommunikationskonzepts dienen.

Das Kernstück der Simulationsumgebung ist die von der TU Braunschweig entwickelte „airline operations simulation“. Diese bietet dem Fluglotsen über eine „ATC“ Schnittstelle die direkte Möglichkeit Anweisungen an Flüge zu übermitteln. Der Dispatcher verfügt in dem Versuchsaufbau über zwei Applikationen. Zum einen die Flugverfolgungapplikation „AOC application“ welche mit Daten aus der „airline operations simulation“ betrieben wird und so dem Dispatcher einen Überblick über die Verkehrslage vermittelt. Zum anderen bedient der Dispatcher JetPlanner um neue Flugpläne für die von ihm betreuten Flüge zu erstellen. Der Pilot bedient das Flugzeug. Die Position wird hierbei aus dem Microsoft Flight Simulator über einen Adapter an das ATC Interface sowie an die „AOC application“ übermittelt. Des Weiteren verfügt der Pilot über eine „DARP“ genannte EFB Applikation welche mit den Dispatch Systemen über eine Cloud Lösung verbunden ist. Auf dieser Applikation werden dem Piloten Flugpläne sowie Kommunikation vom Dispatcher angezeigt.

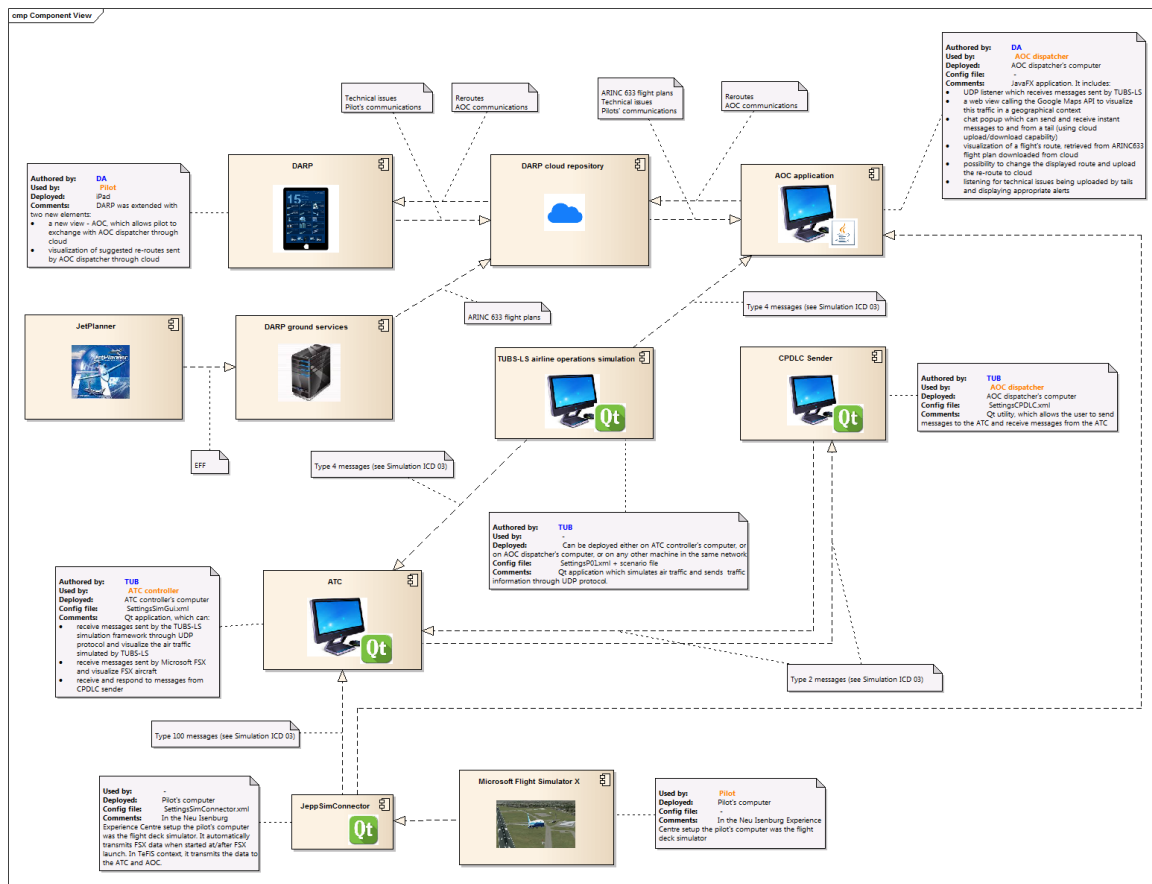


Abbildung 13 Systemarchitektur des Versuchsaufbau

3.3.4 Ablauf

Zur Überprüfung der gesetzten Hypothesen wurden Versuche durchgeführt. Diese Versuche hatten sowohl die Arbeitsabläufe und deren Bewältigung für den Piloten als auch für den Dispatcher im Fokus. Zum Umgang des Fluglotsen mit dem geänderten und zu evaluierenden Kommunikationskonzept fanden bereits Versuche bei der DFS statt. Diese konnten jedoch keinen Einblick in die Arbeitsabläufe innerhalb der Beteiligten Fluggesellschaften zulassen.

Während bei der DFS das Hauptaugenmerk bei der Akzeptanzuntersuchung (mögliche Kommunikation mit den AOCs) der Lotsen lag, soll bei Jeppesen die Einbeziehung und Kommunikationsmöglichkeit des AOCs und der Piloten untersucht werden. Dennoch war es zunächst wichtig, dass bei der DFS simuliert wurde, um auf dieser Grundlage (Anforderung der Vergleichbarkeit) die Simulation bei Jeppesen aufzubauen/anzupassen. Hier konnte auch der Flugplan, welcher durch die DFS für die Belange von Jeppesen angepasst wurde, weiter genutzt werden, sodass ein Vergleich bei der Auswertung ermöglicht wurde. Hinzukommt, dass sämtliche Fragebögen, wie sie bei der DFS genutzt wurden auch bei Jeppesen und den dortigen Versuchsteilnehmern zum Einsatz kamen. Die Simulationsszenarien, entsprechenden Kommunikationswege sowie die Ergebnisse zu den durchgeführten Versuchen sind den nachfolgenden Kapiteln zu entnehmen.

Ziel dieser Simulationskampagne war die Piloten- und AOCseitige Untersuchung über die Machbarkeit der zusätzlichen Kommunikation im sektorlosen Luftraum. Diese Zielformulierung zeigt auch noch einmal deutlich die Abgrenzung zu den Versuchen bei der DFS.

Die Szenarien und die Versuchsdurchführung werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben, sofern dies nicht bereits in Kapitel **Error! Reference source not found.** Die Beschreibung der Szenarien 1 und 3 sind analog zur DFS, sodass lediglich Szenario 2 hinsichtlich der Ausgangslage und Durchführung beschrieben wird.

Versuchsablauf:

Bei den Simulationen bei Jeppesen erfolgten zwei große Kampagnen über mehrere Tage. Hier wurden Versuchsprobanden eingeladen, welche Erfahrungen entweder im Bereich Luftfahrzeugsteuerung/Pilot haben oder aber Kenntnisse über AOC/Airline interne Abläufe haben. Da bereits der Lotsenarbeitsplatz eingehend untersucht wurde, konnte ihr auf ein Lotsen verzichtet werden. Stattdessen wurde die Luftverkehrssimulation durch einen Pseudolotsen der TU Braunschweig bedient. Die Piloten hatten eine realitätsnahe Umgebung in Form eines Boeing Cockpits zur Verfügung, sodass optimale Versuchsbedingungen vorherrschten (Unterstützungstools werden im weiteren Verlauf beschrieben). Für alle Versuchsteilnehmer gab es zu Beginn ein ausführliches Briefing. Hierbei wurden die zur Verfügung stehenden Tools und die entsprechenden Szenarios erläutert. Ebenfalls wurden die Teilnehmer bezüglich der Auswertung instruiert. Die Auswertung der Versuche bzw. die Datenerhebung verliefen, wie bei der DFS auch, sowohl während der Szenarien also auch im direkten Anschluss mittels Fragebögen. Zusätzlich wurden Fragen ausgearbeitet, welche im Anschluss eines Simulationsdurchlaufs in der Gruppe diskutiert wurden.

Simulationsszenario 1 und 3

Wie bereits in Kapitel **Error! Reference source not found.** beschrieben wurden diese beiden Szenarien auch bei Jeppesen simuliert. Dabei lag der Fokus, beim Sequenzwechsel und dem Eingriff bei einer Luftraumsperrung, vorrangig bei der Kommunikation zwischen dem AOC und ATC bzw. den Piloten. Die entsprechenden Kommunikationsabläufe können den nachfolgenden Abbildungen entnommen werden.

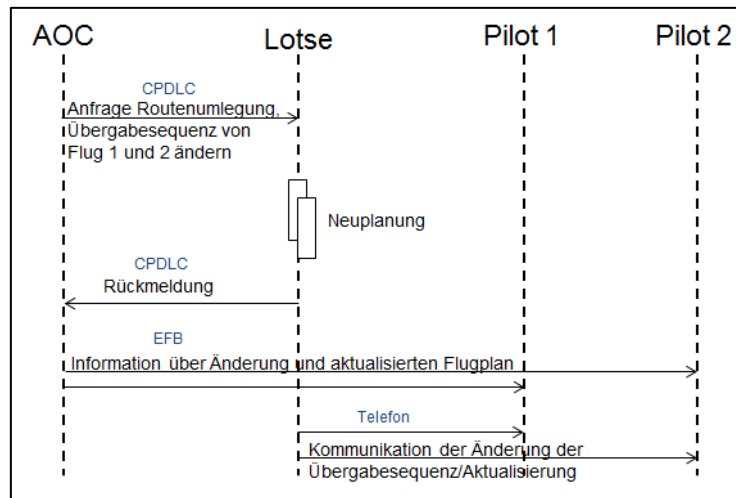


Abbildung 14: Kommunikation Szenario Jeppesen - Sequenztausch

Das Szenario 3 zur Luftraumsperrung/ Schlechtwetter Gebiet wurde auf zwei unterschiedliche Wege simuliert. Dabei lag der Unterschied in der Art der Kommunikation:

1. Direkte Kommunikation (ATC-AOC)
2. Indirekte Kommunikation (ATC-Pilot-AOC)

Ziel war herauszufinden, ob eine direkte Kommunikation weniger umständlichen und vor allem zeitintensiv ist, als eine Kommunikation über dritte und in diesem Fall über den Piloten. Die entsprechenden Ergebnisse können dem weiteren Kapitelverlauf entnommen werden.

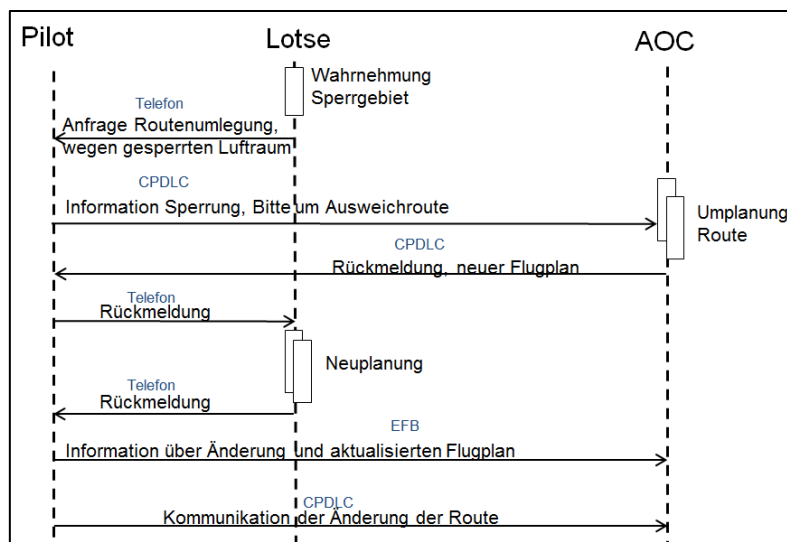


Abbildung 15: Indirekte Kommunikation Szenario Jeppesen - Sperrgebiet

Der erste Kommunikationsweg, welcher simuliert wurde, war der indirekte von ATC über den Piloten, welcher dann entsprechend Rücksprache mit seinem AOC halten konnte.

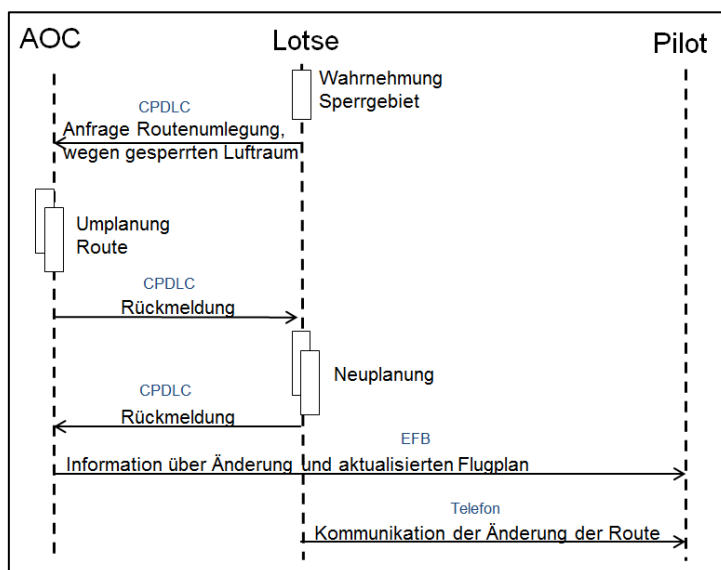


Abbildung 16: Direkte Kommunikation Szenario Jeppesen - Sperrgebiet

Die zweite Variante war der direkte Weg von ATC zunächst an AOC und dieses konnte entsprechend einen Vorschlag unterbreiten. Nach Prüfung durch ATC wurde eine Anweisung an die Piloten übermittelt.

Der Auswertung soll hier schon vorweg genommen werden, dass sich schon nach weniger Versuchen herausgestellt hat, dass die Mehrheit der Piloten in einen strategischen Entscheidungsprozess zur Änderung des Flugweges nicht einbezogen werden wollten. Da Ihnen das Hintergrundwissen der Airline und entsprechende strategische Präferenzen fehlten. Zudem sehen Sie es auch nicht als Ihre Aufgabe an neben dem Fliegen, solche Aspekte mit im Cockpit zu entscheiden. Detaillierte Ergebnisse zu diesem Simulationsversuch folgen.

Szenario 2

In Szenario 2 wurde untersucht inwiefern bei einem technischen Defekt und der Wahl eines Ausweichflughafens eine Integration des AOCs in das neue Luftraumkonzept realisiert werden konnte. Dabei lag das Hauptaugenmerk bei der Kommunikation zwischen AOC und Piloten, worin auch begründet liegt, dass dieses Szenario nur bei Jeppesen und nicht der DFS simuliert wurde. Für dieses Szenario gab es einen möglichen Kommunikationsweg:

1. Direkte Kommunikation (Pilot-AOC-ATC)

Die Auswahl des Ausweichflughafens ist Piloten getriggert. Ein technischer Defekt, welcher zu einer Landung auf einem nahegelegenen Flughafen führt wird durch die Piloten gesteuert/koordiniert.

Ausgangslage:

Ein Luftfahrzeug befand sich im sektorlosen Luftraum auf der entsprechenden Reiseflughöhe und flog unter IFR-Bedingungen. Während des Fluges kam es zu Ausfällen beim Kabinen-/Cockpitlicht. Dieses arbeitete nicht mehr zuverlässig bzw. war komplett ausgefallen. Die Crew detektiert den Zustand und teilte dies unverzüglich dem AOC über das EFB mit. Dieses prüfte, ob die entsprechende Flugstrecke

dennoch weiter fortgeführt werden konnte oder nicht. Im Falle des Szenarios mussten schnellstmöglich Ausweichflughäfen gefunden werden, weil es sich um ein technisches Problem, welches einen Weiterflug zum Zielflughafen nicht möglich machte und zu einer verfrühten Landung bzw. einer Landung auf einem anderen Flughafen als dem Zielflughafen führte.

Lösungsansatz:

Dieser Konflikt war nicht wie das vorangegangene Szenario Airline-intern sondern betraf die Luftsicherheit des Luftfahrzeuges. Aus diesem Grund war auch der Trigger der Pilot selbst, der einen Defekt der Kabinenbeleuchtung erkannte und diesen entweder Beheben konnte (wurde ausgeschlossen) oder diesen Fehler als sicherheitsrelevant deklarierte und weitere Maßnahmen ergreifen musste.

Da es sich bei dem Flug um einen Flug nach Instrumenten-Flugregeln handelte und die planmäßige Landung am Zielflughafen deutlich nach Sonnenuntergang stattfinden sollte, konnte dieser Flug unter diesen Umständen nicht weiter durchgeführt werden. Es musste also bis zum Sonnenuntergang ein Ausweichflughafen gefunden werden, welcher eine schnelle Reparatur des Beleuchtungssystems ermöglicht oder andernfalls die Passagiere auf ein anderes Luftfahrzeug umgebucht werden konnte (geringstmögliche Kosten für die Airline).

An dieser Stelle wird klar, dass das Problem nicht optimal von den Piloten selbst gelöst werden konnte, sondern diese auf die Hilfe des AOC und dessen Wissen über Werft/Umbuchung der Passagiere etc. angewiesen waren.

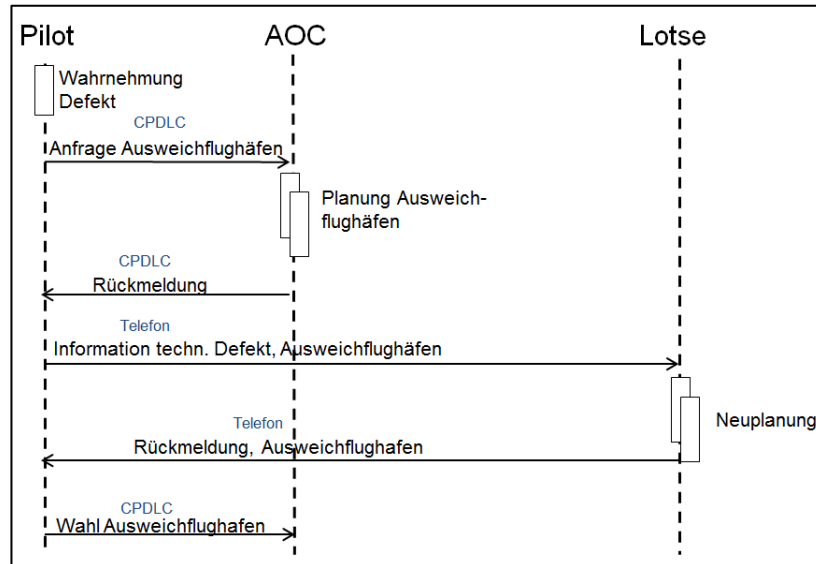


Abbildung 17: Kommunikation Szenario Jeppesen - Ausweichflughafen

Auch hier stand den Piloten als Kommunikationsmittel das EFB zur Verfügung. Es wurde genutzt, um zum einen eine Fehlermeldung (Cockpitbeleuchtung defekt) zu versenden und zum anderen um mögliche Ausweichflughäfen durch das AOC zu empfangen. Nach dem Erreichen der Nachricht vom Cockpit an das AOC wurde dieses tätig und hat potentielle Ausweichflughäfen mit Hilfe der Unterstützungstools herausgearbeitet und diese ans Cockpit geschickt. Die Piloten haben im Anschluss daran direkt mit der ATC eine Lösung und damit einen alternativen Flugplatz gefunden. Nachdem ein Ausweichflughafen gefunden wurde, haben die Piloten das AOC darüber in Kenntnis gesetzt und es hätte in der Realität entsprechend weitere Vorkehrungen treffen können (Techniker, Umbuchungen etc.).

Dies war aber nicht Untersuchungsgegenstand des Projektes, sodass an dieser Stelle, sprich nach der Findung des Ausweichflughafens, das Szenario als beendet galt. Aus der Abbildung kann noch einmal übersichtlich der Kommunikationsablauf entnommen werden:

3.3.5 Durchführung der Simulation

Dies waren alle Szenarios, welche in der 3-tägigen Simulationskampagne bei Jeppesen simuliert wurden. Dabei standen den Versuchsteilnehmern unterschiedliche technische Hilfsmittel zur Verfügung, damit Sie die entsprechenden Probleme bzw. Herausforderungen lösen und vor allem miteinander kommunizieren konnten. Diese Unterstützungssysteme werden kurz erläutert.

Für den Pseudolotsen stand eine Luftverkehrssimulation zur Verfügung, welche für die Koordination der Luftverkehrsströme diente. Diese hatte nicht den Umfang, wie das System bei der DFS, ist aber dennoch für die Simulation bei Jeppesen vollkommen ausreichend gewesen. Hierbei war wichtig, dass die Daten aus dem Flugzeugsimulator in Echtzeit in die Simulation integriert wurden, sodass zu jeder Zeit die Aktionen des Piloten in die Simulation einfließen und angezeigt werden konnten. Die Simulation selbst bildete immer ein Szenario ab, welches auch dem der DFS entsprach und demnach den gestellten Anforderungen zur Vergleichbarkeit. Zusätzlich wurden alle Agenten nach tabellarischen Leistungsdaten simuliert, welche durch die DFS bereitgestellt wurden. Folgende zusätzliche Eigenschaften wies die Simulation der TU Braunschweig auf:

- Anzeige von Wegpunkten, Flugplätzen
- Pseudopiloten-Funktion (führt auch CPDLC-Anweisungen aus)
 - o Headingchange
 - o Flight Level change
 - o Speed change (VIAS/Ma)
 - o Direct to
 - o Holding at

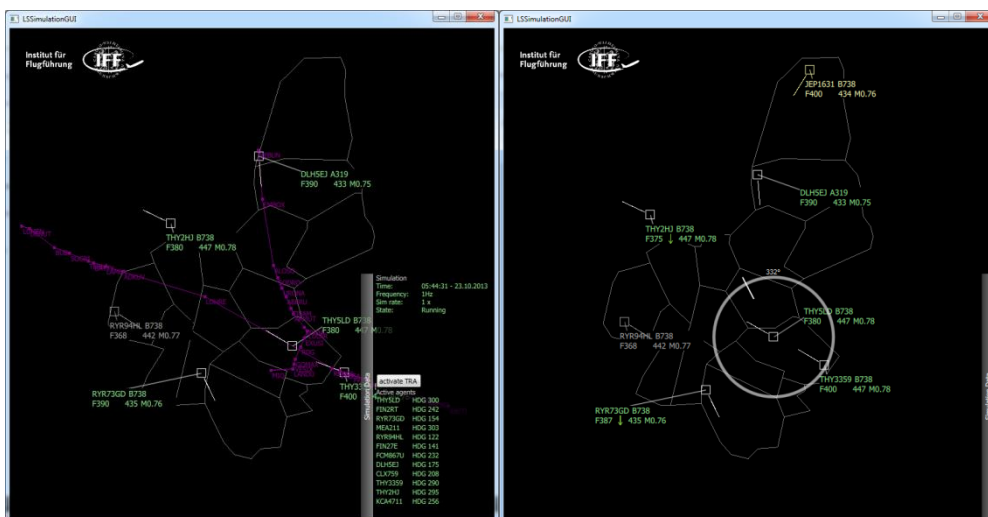


Abbildung 18: Luftverkehrssimulation der TU Braunschweig, 2 Ansichten

Über einen Szenario-Editor (GUI) konnten die entsprechenden Szenarien problemlos erstellt und editiert werden. Zudem konnten über diesen Editor die DFS-Szenarien importiert werden. Die Luftverkehrssimulation umfasste eine ATC GUI (Anzeige der Simulationsdaten und CPDLC-Funktion)

und einen CPDLC-Sender. Hierüber konnten Informationen (vorrangig) an das AOC gesendet oder aber empfangen werden. Diese Nachrichten konnten durch den Pseudolotsen als Freitext-Nachrichten über eine Tastatur eingegeben werden. Alle Versuchsdurchläufe wurden durch einen Logger während der Simulationsläufe aufgezeichnet und in einer csv-Datei gespeichert und stehen auch nach den Versuchen zur Verfügung. Die nachfolgenden Bilder sollen nochmal einen kurzen Eindruck der Simulationsoberfläche geben:

Der Simulationspilot in der Jeppesen-Kampagne saß, wie bereits erwähnt, in einem Flugsimulator. Dieser Simulator ist einer Boeing 737 nachempfunden und ist mit den entsprechenden Instrumenten zur Navigation etc. ausgerüstet, welche für die Versuche benötigt wurden, sodass ein reales Arbeitsumfeld existierte. Als weiteres technisches Hilfsmittel vor allem für die Kommunikation stand neben einem Headset für den Sprechfunk von ATC zu Pilot bzw. andersrum, das EFB mit der Applikation DAR-Pilot zur Verfügung. Hier hatten die Piloten zum einen eine Anzeige der Flugroute aber auch die nachfolgend aufgelisteten weiteren Optionen:

- Kommunikation mit AOC über ein Textfeld
- Empfangen/Senden von Nachrichten an AOC
- Senden von technischen Störungen
- Empfang von Ausweichflughäfen

Für eine bessere Visualisierung dienen die nachfolgenden Abbildungen, welche das EFB darstellen. Im linken Bild sind die simulierten (im Flugsimulator erfolgten) Luftfahrzeuge aufgelistet. Das Bild in der Mitte zeigt exemplarisch die Route, welche von dem Luftfahrzeug abgeflogen wurde und das rechte Bild die exemplarische Kommunikation zwischen AOC und Pilot bei der Findung eines Ausweichflughafens.

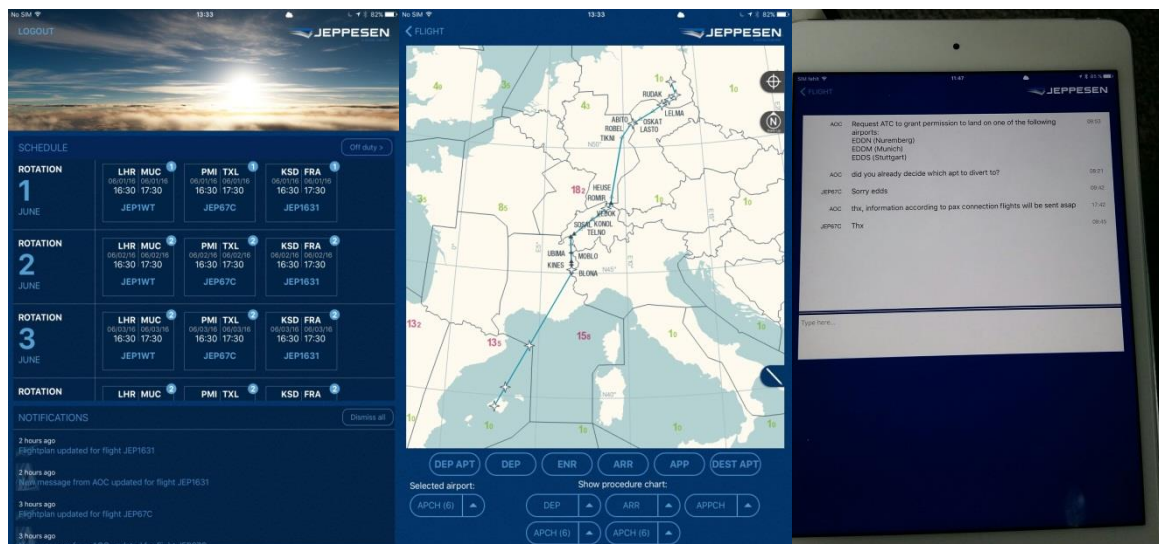
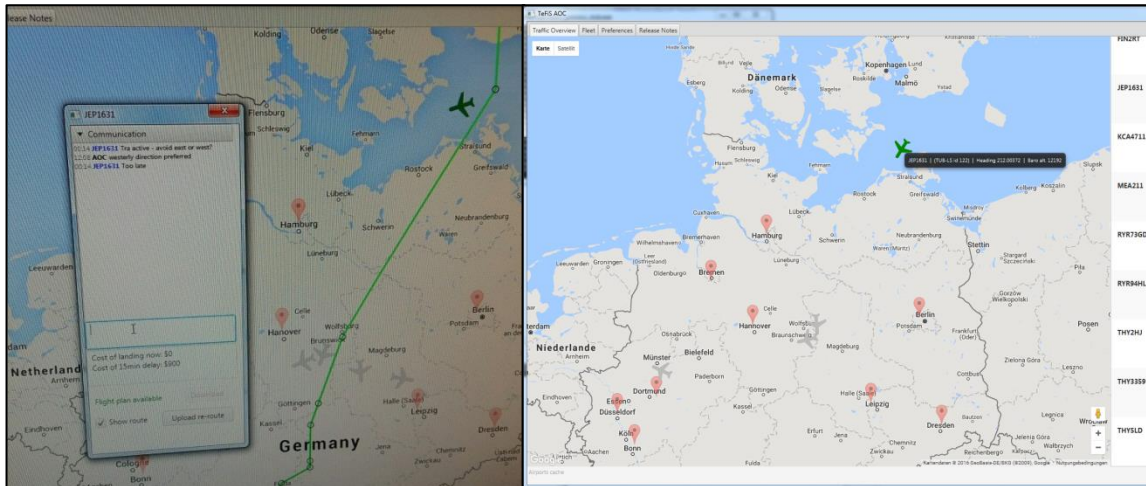


Abbildung 19: Auswahl einiger Details des EFBs mit der Software DAR-Pilot von Jeppesen

Die Unterstützung für das AOC war ein durch Jeppesen programmiertes Tool, welches die Möglichkeit bot alle Flüge der Airline zu überwachen und mit dem Simulationspiloten/ATC zu kommunizieren. Dieses Tool ermöglichte auch das Senden von Ausweichflughäfen durch einfaches anklicken der großen Verkehrsflughäfen, welche farblich hervorgehoben waren. Hinzukam, dass sobald von Pilotenseite

eine Nachricht verschickt wurde, das entsprechende Luftfahrzeug farblich hervorgehoben wurde. Damit konnte sichergestellt werden, dass das AOC zeitnah reagierte. Die Kommunikation mit ATC erfolgte über einen CPDLC Sender und Empfänger. Dieses Kommunikationstool wurde durch die TU Braunschweig bereitgestellt.



Mit diesen Hilfsmitteln war es jederzeit möglich die Kommunikation realitätsnah abbilden zu können

Abbildung 20: AOC Software zur Kommunikation und Anzeige von Luftfahrzeugen

und die unterschiedlichen Kommunikationswege hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu prüfen. Die Auswertung erfolgte analog zu der der DFS, außer dass die Fragebögen nicht direkt auf einem Monitor abgebildet wurden sondern durch die Versuchsperson auf ausgedruckten Unterlagen ausgefüllt wurden.

3.3.6 Probandenkollektiv

Die Probanden rekrutierten sich aus Jeppesen Mitarbeitern sowie Piloten aus der Region. Auf Grund der geringen Größe der Grundgesamtheit des Probandenkollektivs lassen sich keine quantitativen Rückschlüsse auf das Kommunikationskonzept machen. Da diese Voraussichtlich jedoch auch sehr Abhängig von regionalen operationellen Gegebenheiten haben würde eine solche Studie den Maßrahmen sprengen. Die Versuche erlauben jedoch einen qualitativen Einblick in die Akzeptanz des Kommunikationskonzepts. Auf Basis dieser Rückmeldung kann eine Einschätzung über die operationelle Reife des Konzepts vorgenommen werden.

Insgesamt wurden vier Versuchsdurchläufe mit jeweils drei Versuchsszenarien durchgeführt. Hierbei wurde jeweils ein Pilot, ein Dispatcher, ein „Pseudo Fluglotse“ benötigt. Zusätzlich wurden zur Versuchsdurchführung ein Versuchsleiter sowie zwei Versuchsbeobachter eingesetzt. So dass jeder Versuchsdurchlauf sechs Personen benötigte.

3.3.7 Allgemeiner Ablauf

Vor dem Beginn jedes Versuchs wurden die Probanden begrüßt und zunächst mit den Systemen vertraut gemacht. Hierbei konnten erste Fragen zu den Systemen und der Bedienung beantwortet werden. Im Folgenden wurden die Probanden mit dem Versuchsablauf, den Versuchsszenarien sowie den aufgenommenen Messgrößen vertraut gemacht. Die Folien welche den Probanden gezeigt wurden sind in Anhang 6.1 zu finden.

3.3.8 Versuchsszenarien

Der Versuchsaufbau teilt sich in drei Versuchsszenarien. Anhand dieser sollten kritische Ereignisse aus dem Kommunikationskonzept validiert werden. Die Reihenfolge der Szenarien wurde über die Versuchsdurchläufe randomisiert. Alle Szenarien beziehen sich auf den oberen Luftraum des UAC Karlsruhe (siehe Abbildung 2). Hierbei überwacht ein Fluglotse mehrere Flugzeuge innerhalb des Luftraums. Gleichzeitig operieren andere Flugzeuge überwacht von anderen Fluglotsen im selben Luftraum.

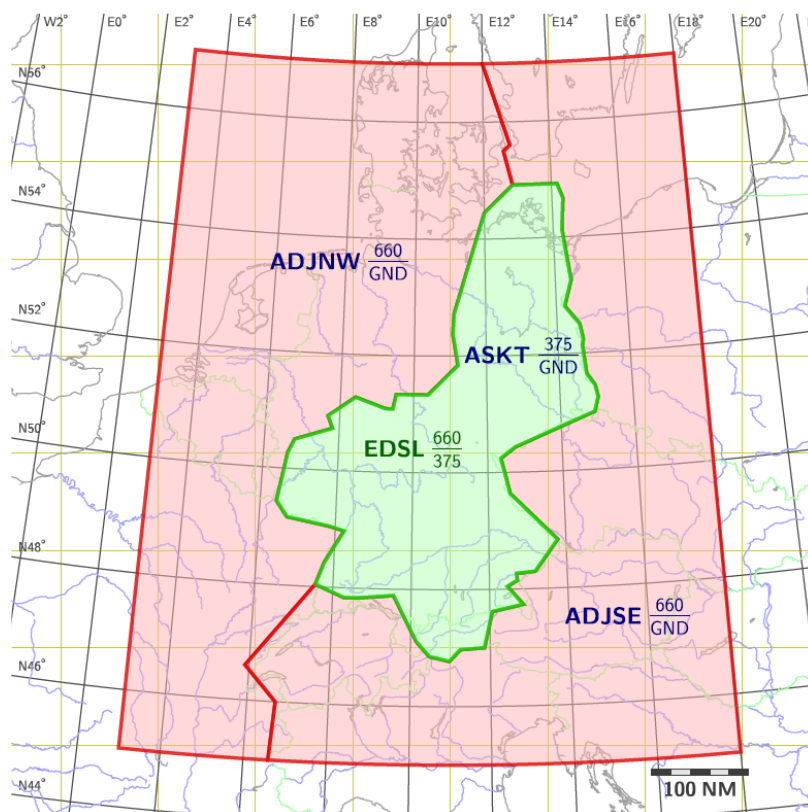


Abbildung 21 Sektorloser Luftraum

Im Folgenden werden die Versuchsszenarien näher betrachtet.

3.3.9 Szenario 1: Änderung der Übergabesequenz

In diesem Szenario besteht eine Präferenz seitens der Fluggesellschaft Flüge im Luftraum unterschiedlich zu priorisieren. Hierbei fliegen zwei Flugzeuge einer Fluggesellschaft im selben Luftraum zum gleichen Zielflughafen. Flug 1 ist allerdings verspätet und hat viele Passagiere welche einen Anschlussflug haben. Flug 2 ist pünktlich und hat sehr wenige Passagiere mit Anschlussflügen. Zur Gesamtkostenoptimierung der Fluggesellschaft stellt diese die Anfrage bei der Flugsicherung Flug1 zu priorisieren. Wenn dies von der Flugsicherung akzeptiert wird, erhalten die Piloten beider Flüge entsprechende Anweisungen. Der Ablauf ist im Sequenzdiagramm in Abbildung 3 dargestellt.

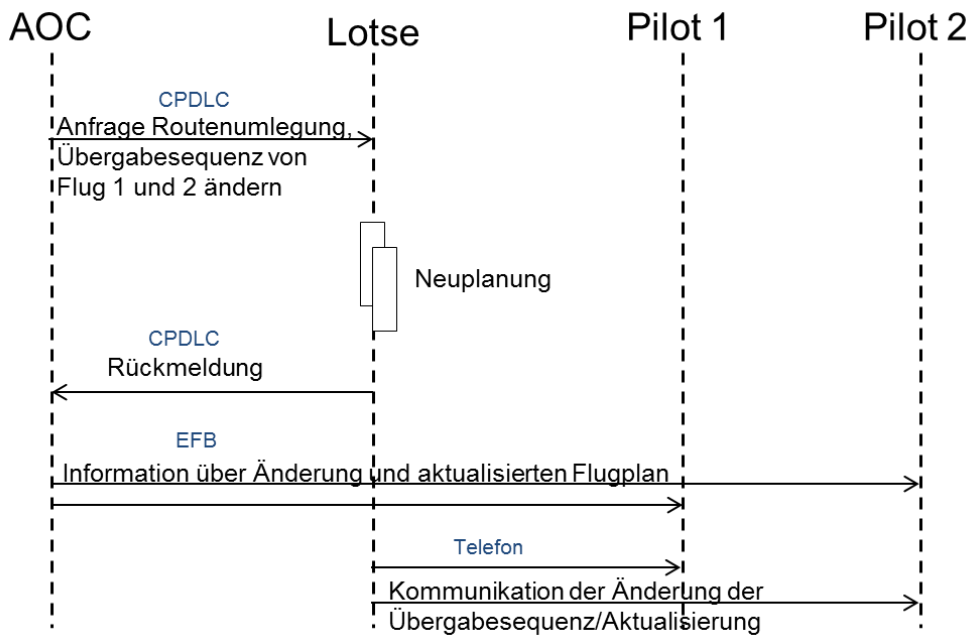


Abbildung 22 Sequenzdiagramm Szenario 1

3.3.10 Szenario 2: Ausweichflughafen

Bei dem betrachteten Flug fällt die Overheadpanel Beleuchtung aus. Dies erfordert es dass das Flugzeug den Zielflughafen am Tag erreicht. Mit dem derzeitigen Flugplan kann dies nicht erreicht werden. Der Pilot erbittet zu einem Ausweichflughafen umgeleitet zu werden. Da dies kein kritisches Szenario ist kann die Fluggesellschaft, in diesem Fall der Dispatcher, einen möglichst optimalen Ausweichflughafen suchen. Das Ziel hierbei für den Dispatcher die Auswirkungen auf die gesamte Fluggesellschaft so gering wie möglich zu halten. Der Ablauf sieht vor das der Pilot zunächst den Defekt an den Dispatcher meldet. Dieser nimmt die Planung vor einen möglichst optimalen Ausweichflughafen zu identifizieren. Dies meldet er zurück an den Piloten. Der Pilot kommuniziert den defekt sowie den gewünschten Ausweichflughafen mit dem Fluglotsen. Der Fluglotse evaluiert die Präferenzen und gibt eine entsprechende Rückmeldung.

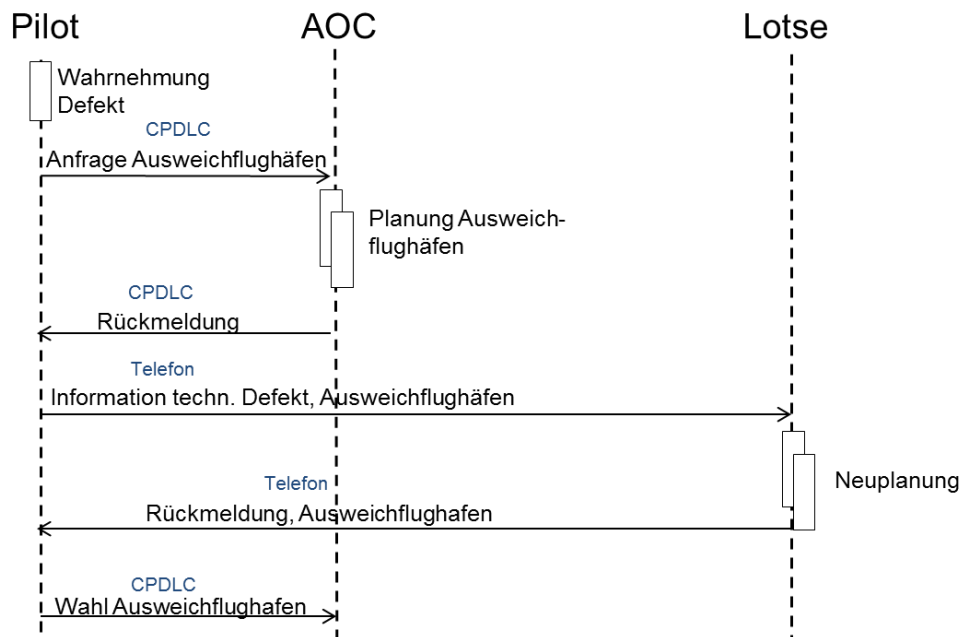


Abbildung 23 Sequenzdiagramm Szenario 2

3.3.11 Szenario 3: Sperrung des Luftraums

Kurzfristig muss ein bestimmter Luftraum geschlossen werden. Hierzu muss Verkehr welcher planmäßig durch diesen Luftraum fliegen sollte umgeleitet werden. Hierbei wurden zwei Szenarien unterschieden die im Folgenden als 3a und 3b referenziert werden.

Im ersten Fall 3a teilt der Fluglotse dem Piloten die geplante Routenumlegung auf Grund der Luftraumsperrung mit. Der Pilot leitet diese Information an den Dispatcher weiter um zusammen mit diesem eine neue Routenpräferenz zu definieren. Nachdem diese vom Dispatcher in einen Flugplan übertragen wurde und an den Piloten übertragen, sendet der Pilot diese Präferenz den Lotsen welcher eine Neuplanung unternimmt. Nachdem der Lotse eine Rückmeldung über die Routenänderung mitteilt leitet der Pilot diese Information an den Dispatcher weiter.

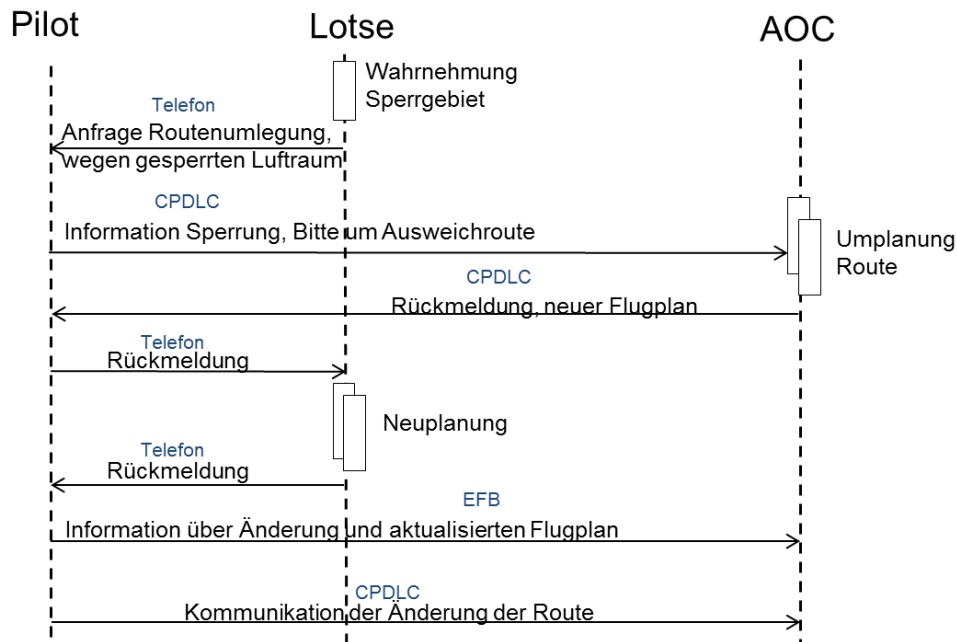


Abbildung 24 Sequenzdiagramm Szenario 3a

Im zweiten Fall wendet sich der Fluglotse an den Dispatcher. Hier findet die Umplanung direkt ohne Involvierung des Piloten am Boden statt. Wird von dem Fluglotsen verifiziert und akzeptiert. Erst nach diesem Schritt wird der Pilot in Kenntnis gesetzt. Sowohl vom Dispatcher über die Flugplan Änderung als auch vom Fluglotsen über die geänderte Route.

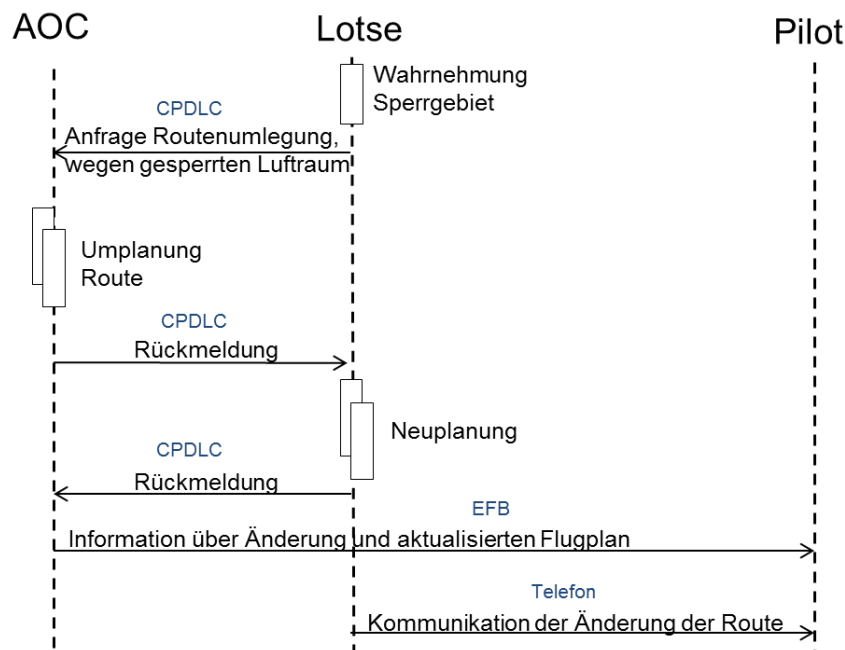


Abbildung 25 Sequenzdiagramm Szenario 3b

3.4 Auswertung

Die gesammelten Parameter werden einer qualitativen Analyse unterzogen welche im Folgenden dargestellt werden.

3.4.1 Szenarien spezifische Betrachtung

Im Folgenden werden die gewählten Untersuchungsszenarien getrennt ausgewertet. Hierbei ist der Ablauf identisch. Zunächst werden die Arbeitsbelastung und das Situationsbewusstsein der Probanden über den Versuchsdurchlauf in 5 Minuten Intervallen betrachtet. Zum Abschluss jedes Szenarios wurden von den Probanden ein NASA TLX sowie weitere Fragen zum Situationsbewusstsein als auch offene Fragen beantwortet. Alle Antwortdaten befinden sich im Anhang **Error! Reference source not found..**

3.4.2 Szenario 1: Änderung der Übergabesequenz

Die Arbeitsbelastung ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 26 dargestellt. Sowohl für Piloten als auch für den Dispatcher wurde sie als gering bis Mittelstark eingeschätzt (Pilot: Durchschnitt=2,5; Standardabweichung=0,67; Dispatcher: Durchschnitt=2,2; Standardabweichung=0,75). Es ist für den Piloten kein klarer Verlauf über die Zeit zu erkennen. Für den Dispatcher steigt die Arbeitsbelastung erst an um dann zum Ende des Versuchs wieder abzunehmen.

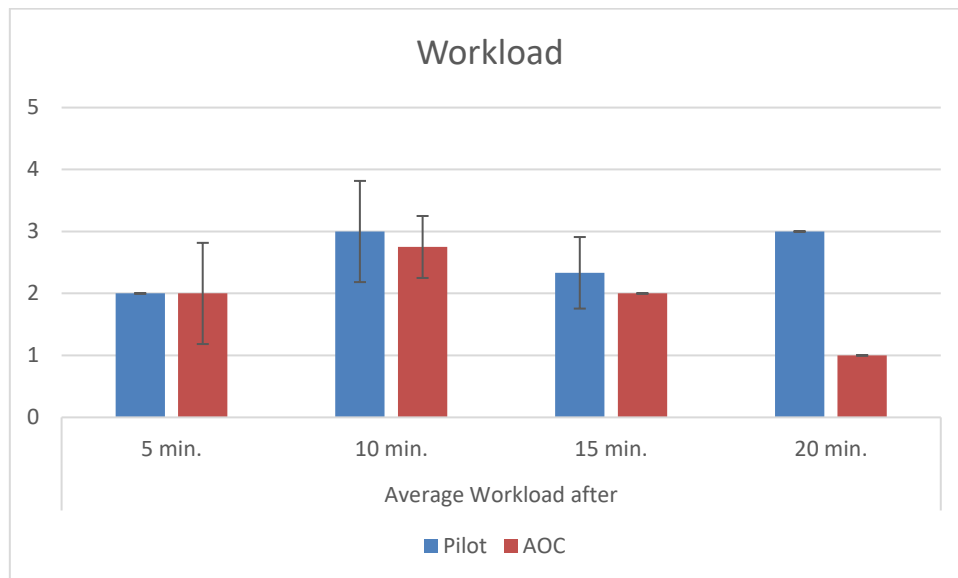


Abbildung 26 Arbeitsbelastung Szenario 1 über die Versuchszeit

Das Situationsbewusstsein ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 27 dargestellt. Das Situationsbewusstsein wird sowohl vom Piloten als auch vom Dispatcher durchgehend als sehr hoch bewertet (Pilot: Durchschnitt=4,1; Standardabweichung=0,76; Dispatcher: Durchschnitt=4,7; Standardabweichung=0,45).

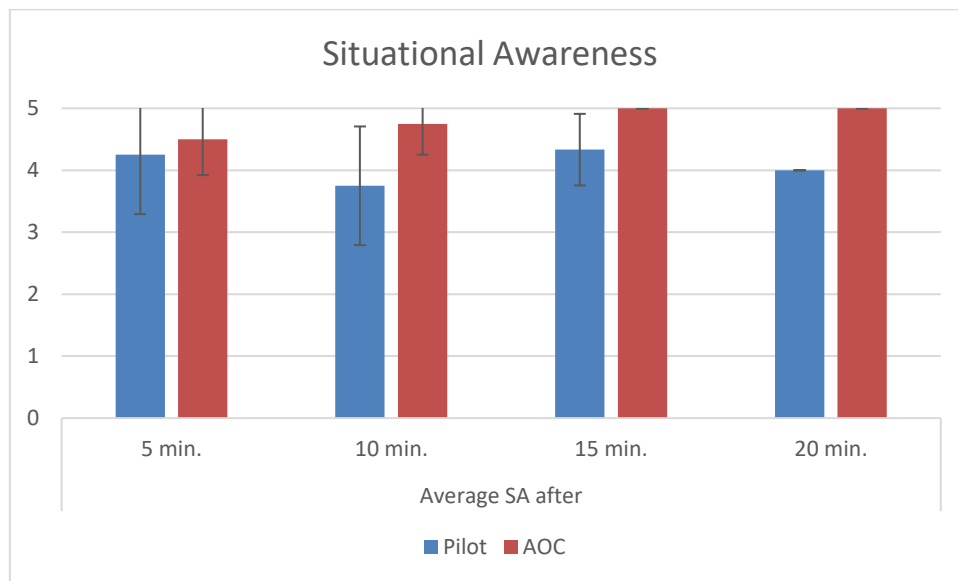


Abbildung 27 Situationsbewusstsein Szenario 1 über die Versuchszeit

Die Auswertung des NASA Task Load Index ist für Szenario 1 in Abbildung 28 dargestellt. Pilot und Dispatcher haben die fünf Kategorien ähnlich bewertet, wobei die Dispatcher die Anforderungen höher jedoch auch mit einer größeren Streuung bewerten.

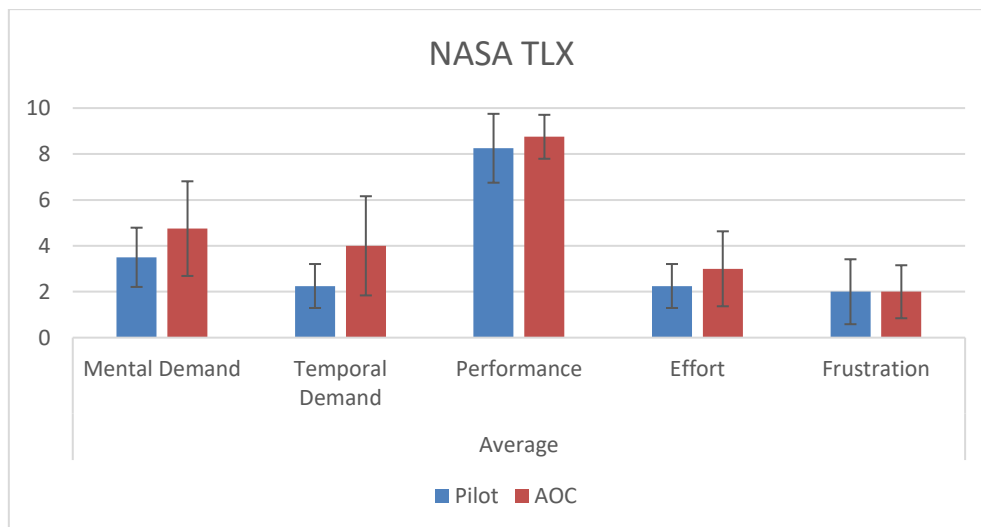


Abbildung 28 NASA Task Load Index Szenario 1

Die ergänzenden Fragen zum Situationsbewusstsein sind in Abbildung 29 dargestellt. Das Antwortverhalten zwischen Pilot und Dispatcher ist generell ähnlich. Es zeigt sich aber bei einigen Fragen eine große Streuung. Insgesamt wurde das Kommunikationskonzept jedoch als positiv bewertet (Pilot: Durchschnitt=6,3; Standardabweichung=0,96; Dispatcher: Durchschnitt=6,0; Standardabweichung=0,82).

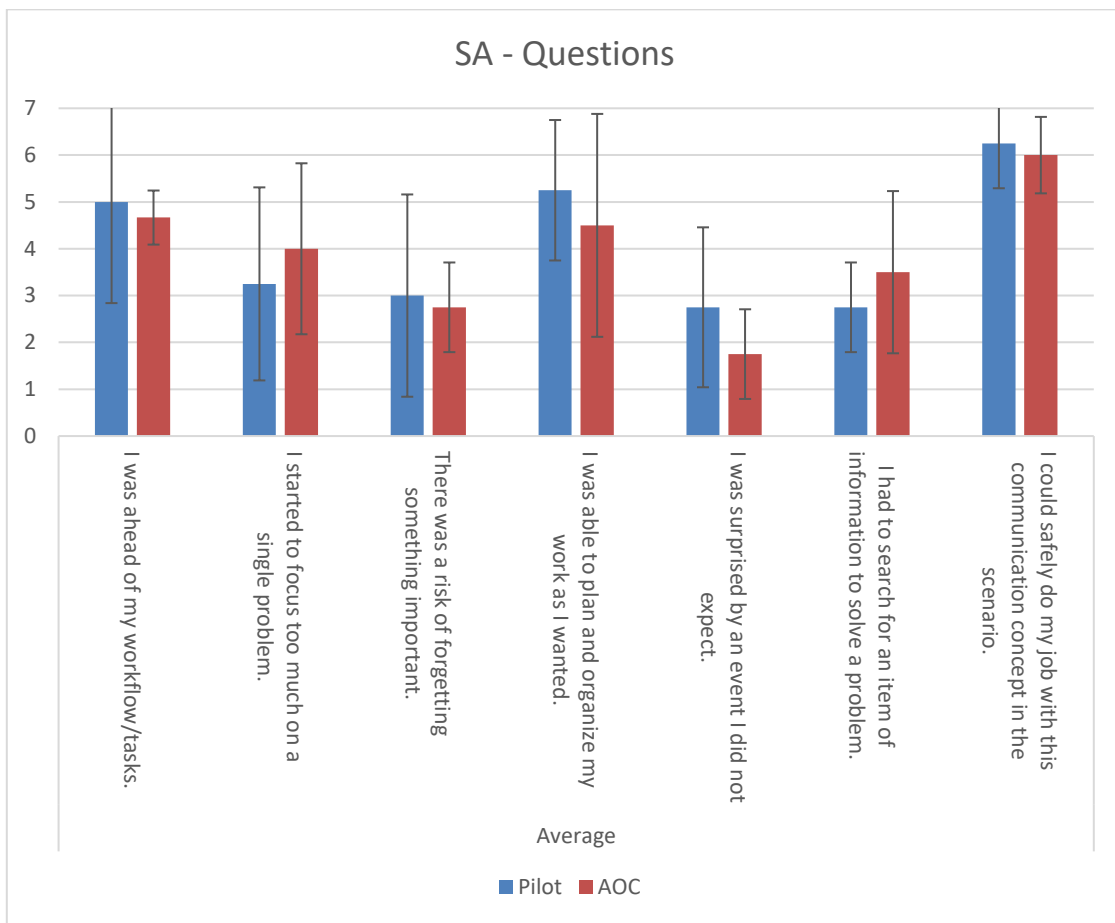


Abbildung 29 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 1

3.4.3 Szenario 2: Ausweichflughafen

Die Arbeitsbelastung ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 30 dargestellt. Sowohl für Pilot als auch für den Dispatcher ist die Arbeitsbelastung kontinuierlich ansteigend. Die Piloten haben über die Zeitreihe kontinuierlich die Arbeitsbelastung höher und mit einer höheren Streuung bewertet als die Dispatcher (Pilot: Durchschnitt=2,8; Standardabweichung=1,31; Dispatcher: Durchschnitt=2,4; Standardabweichung=0,84).

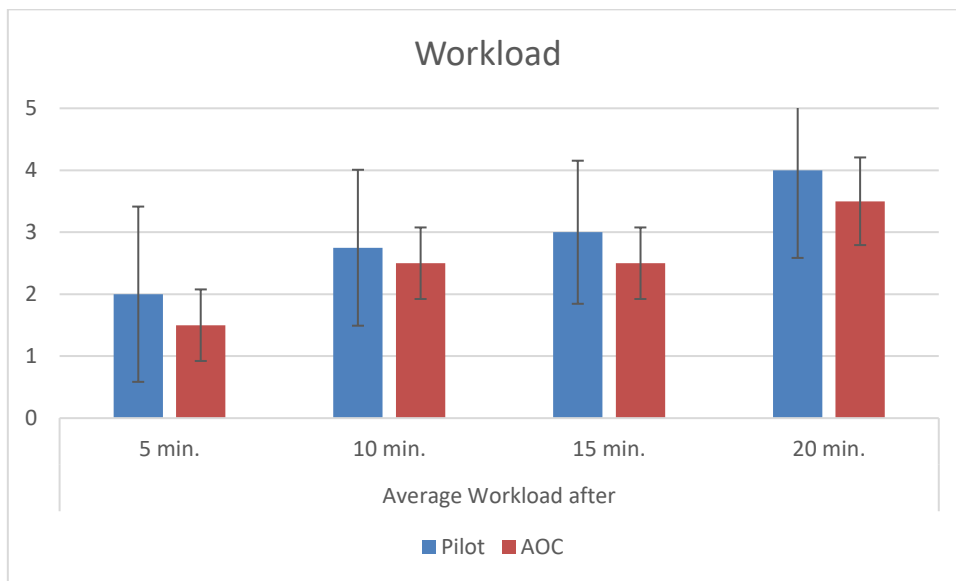


Abbildung 30 Arbeitsbelastung Szenario 2 über die Versuchszeit

Das Situationsbewusstsein ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 31 dargestellt. Für den Dispatcher nimmt das Situationsbewusstsein über die Zeit zunächst ab um zum Ende sehr hoch bewertet zu werden. Für die Piloten bleibt das Situationsbewusstsein auf einem Mittel-hohem Wert und die Standardabweichung nimmt über die Zeit ab (Pilot: Durschnitt=3,5; Standardabweichung=1,4; Dispatcher: Durchschnitt=4,1; Standardabweichung=1,07).

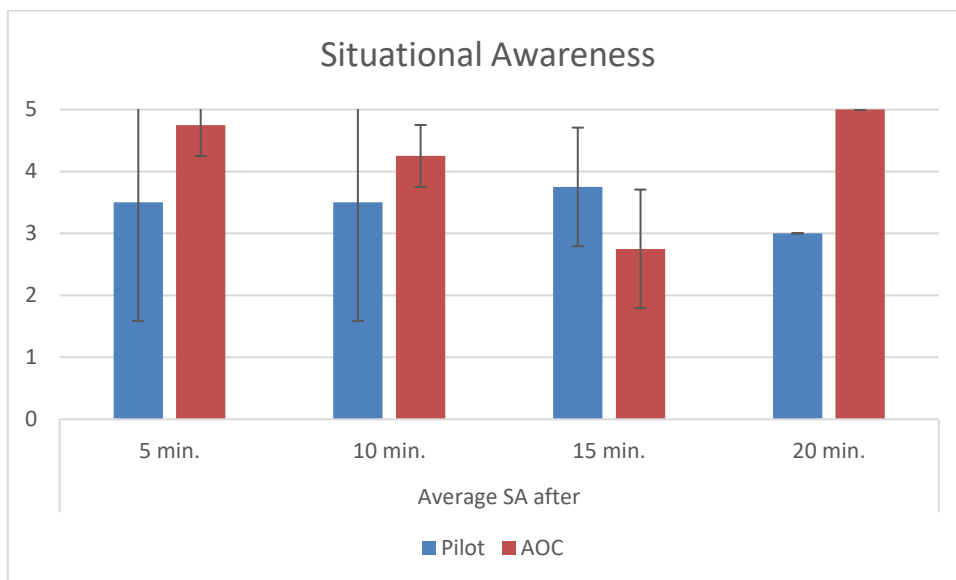


Abbildung 31 Situationsbewusstsein Szenario 2 über die Versuchszeit

Die Auswertung des NASA Task Load Index ist für Szenario 2 in Abbildung 32 dargestellt. Die Bewertung ist für Piloten und Dispatcher ähnlich. Es fällt jedoch eine große Streuung bei den Antworten zur mentalen Beanspruchung, zur Anstrengung sowie bei der Frustration auf.

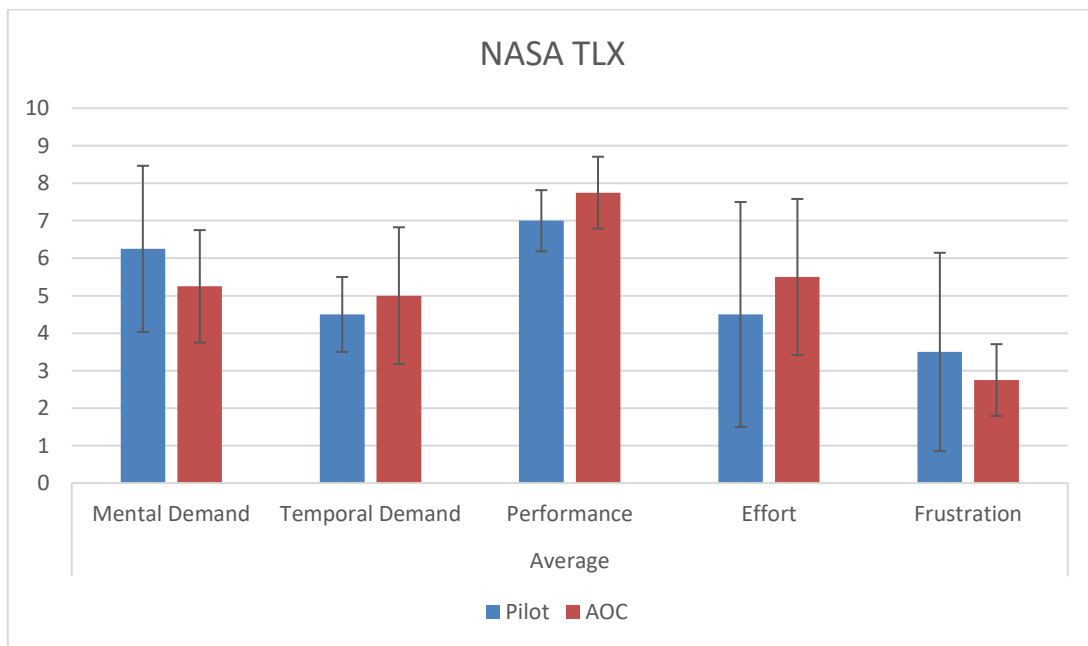


Abbildung 32 NASA Task Load Index Szenario 2

Die ergänzenden Fragen zum Situationsbewusstsein sind in Abbildung 33 dargestellt. Sowohl Pilot als auch Dispatcher werten das Szenario als positiv. Die Frage nach der sicheren Ausführung der Aufgaben bei Verwendung des Kommunikationskonzepts wird positiv bewertet allerdings nicht so positiv wie in Szenario 1.

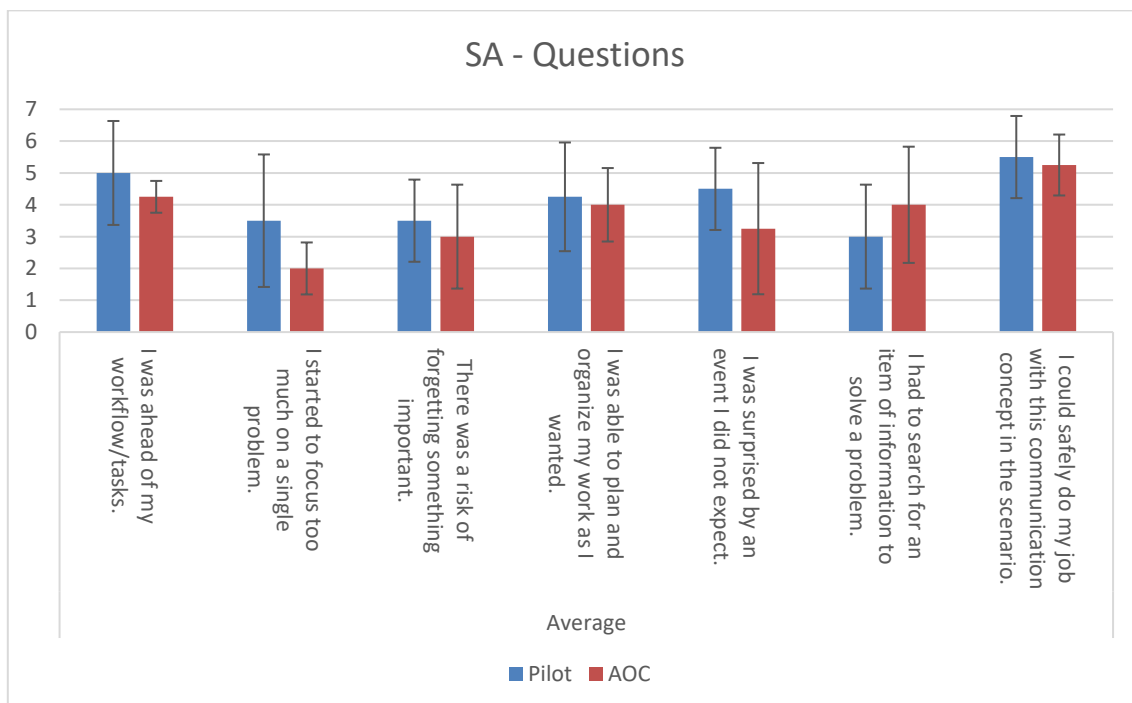


Abbildung 33 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 2

3.4.4 Szenario 3a: Sperrung des Luftraums

Die Arbeitsbelastung ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 34 dargestellt. Sowohl für die Piloten als auch für die Dispatcher steigt die Arbeitsbelastung zunächst an um dann wieder abzunehmen.

Generell wird die Arbeitsbelastung jedoch als niedrig bewertet (Pilot: Durchschnitt=2,4; Standardabweichung=1,08; Dispatcher: Durchschnitt=1,8; Standardabweichung=0,94).

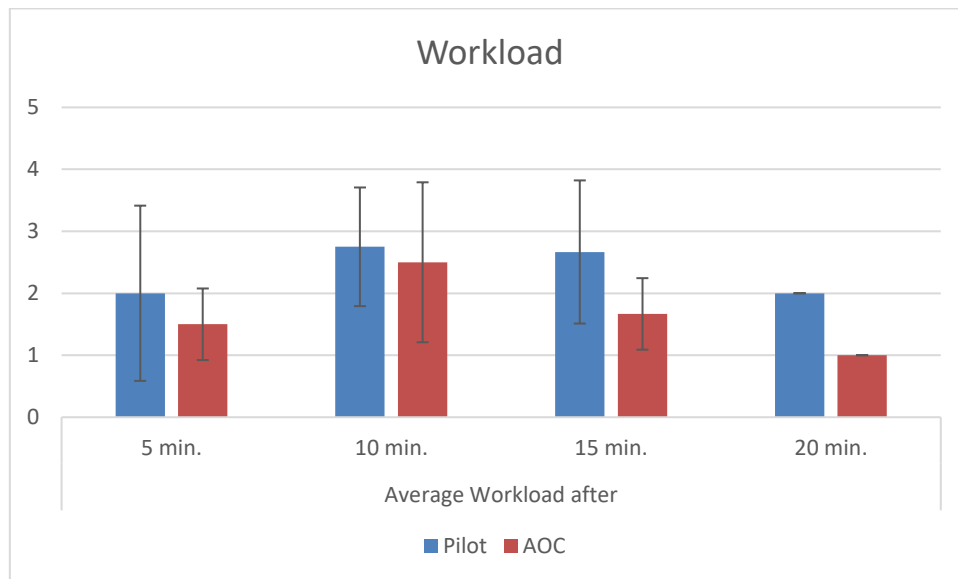


Abbildung 34 Arbeitsbelastung Szenario 3a über die Versuchszeit

Das Situationsbewusstsein ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 35 dargestellt. Durchgehend wird das Situationsbewusstsein von den Dispatchern höher als von den Piloten bewertet. Allerdings bewerten auch die Piloten das Situationsbewusstsein positiv (Pilot: Durchschnitt=3,7; Standardabweichung=1,07; Dispatcher: Durchschnitt=4,4; Standardabweichung=0,79).

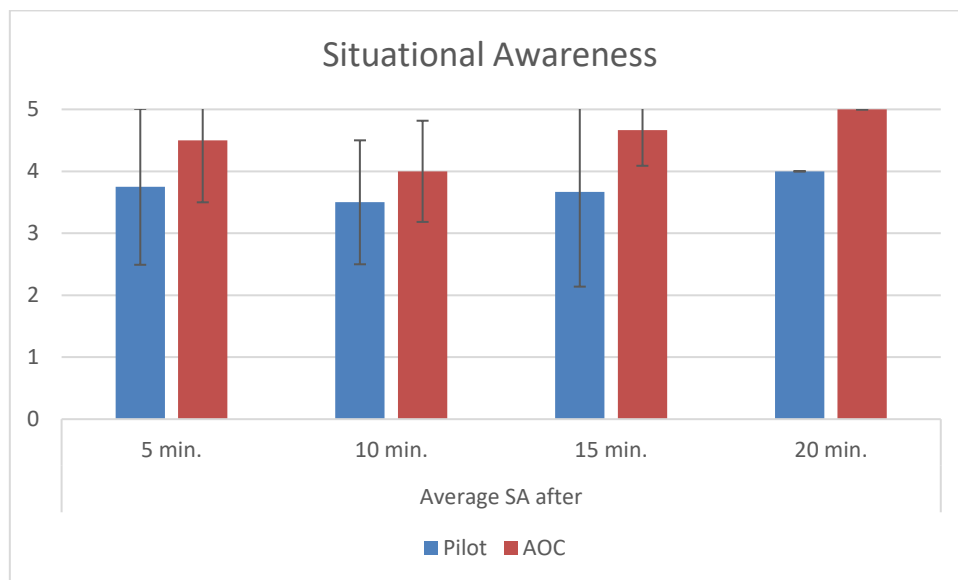


Abbildung 35 Situationsbewusstsein Szenario 3a über die Versuchszeit

Die Auswertung des NASA Task Load Index ist für Szenario 3a in Abbildung 36 dargestellt. Das Antwortverhalten ist für Pilot wie auch Dispatcher ähnlich. Die Pilotenbewertung zeigt jedoch eine höhere Beanspruchung besonders. Hier ist aber gerade bei der mentalen wie auch zeitlichen Beanspruchung die Bandbreite groß.

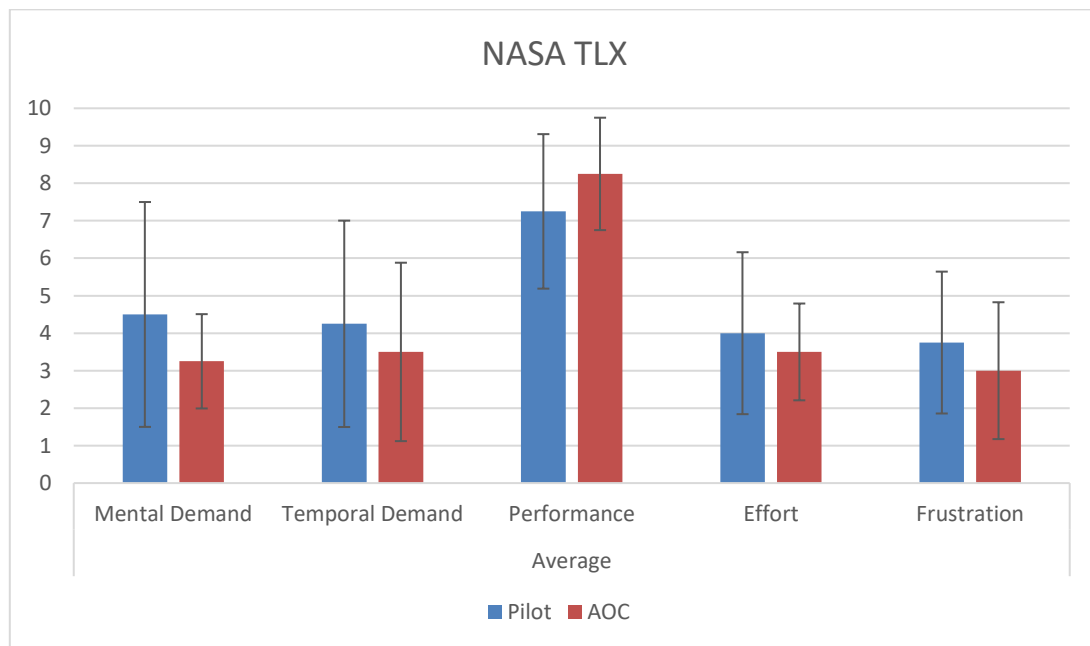


Abbildung 36 NASA Task Load Index Szenario 3a

Die ergänzenden Fragen zum Situationsbewusstsein sind in Abbildung 37 dargestellt. Die antworten werten das System sowohl für den Piloten als auch für den Dispatcher als positiv. Eine größere Differenz im Antwortverhalten ist bei der Frage zu erkennen ob ein Risiko bestand etwas Wichtiges zu vergessen. Dies wurde von den Piloten als Mittel eingestuft von den Dispatchern jedoch nur als niedrig. Die Frage nach der Anwendbarkeit des Kommunikationskonzepts wurde jedoch auch hier als hoch bewertet.

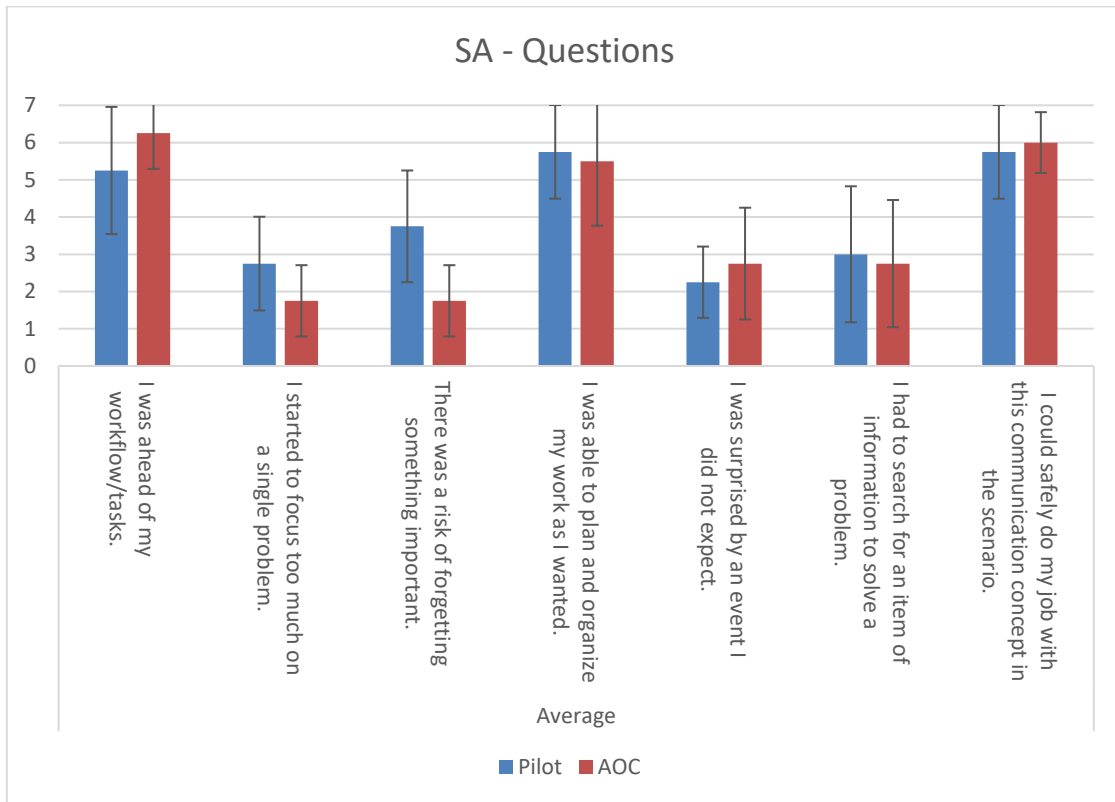


Abbildung 37 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 3a

3.4.5 Szenario 3b: Sperrung des Luftraums

Die Arbeitsbelastung ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 38 dargestellt. Die Arbeitsbelastung wird sowohl für Piloten als auch Dispatcher als niedrig bis mittel bewertet. Die Dispatcher Bewertung ist durchgehend höher als die der Piloten. In beiden Fällen steigt die Arbeitsbelastung an und fällt zum Ende des Durchlaufs wieder ab (Pilot: Durchschnitt=1,6; Standardabweichung=0,74; Dispatcher: Durchschnitt=2,4; Standardabweichung=0,74).

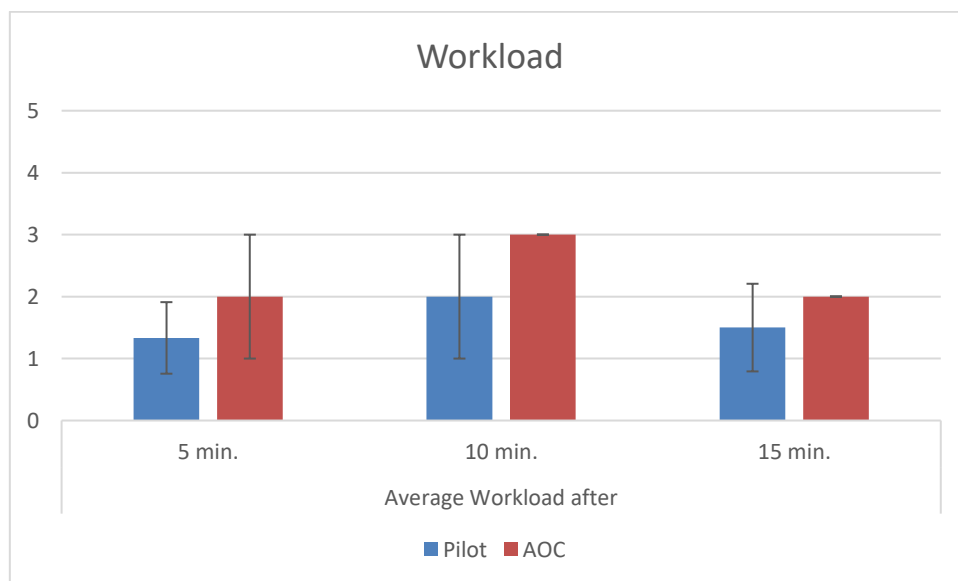


Abbildung 38 Arbeitsbelastung Szenario 3b über die Versuchszeit

Das Situationsbewusstsein ist über den Verlauf des Versuchs in Abbildung 39 dargestellt. Es wird von beiden Gruppen als mittel bis hoch bewertet. Hierbei jedoch durchgehend von den Dispatchern besser. Es zeigt sich bei den Piloten eine sehr große Standardabweichung (Pilot: Durchschnitt=3,3; Standardabweichung=1,49; Dispatcher: Durchschnitt=4,5; Standardabweichung=0,53).

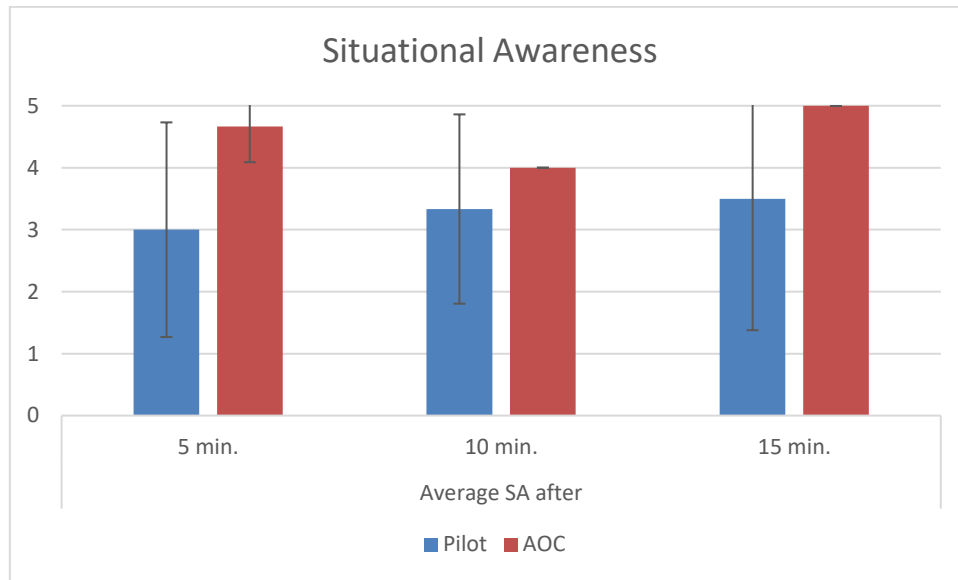


Abbildung 39 Situationsbewusstsein Szenario 3b über die Versuchszeit

Die Auswertung des NASA Task Load Index ist für Szenario 3b in Abbildung 40 dargestellt. Aufwand, mentale und zeitliche Beanspruchung wurden von den Dispatchern als höher bewertet. Die allgemeine Performance wird aber von Piloten und Dispatchern als gut bewertet.

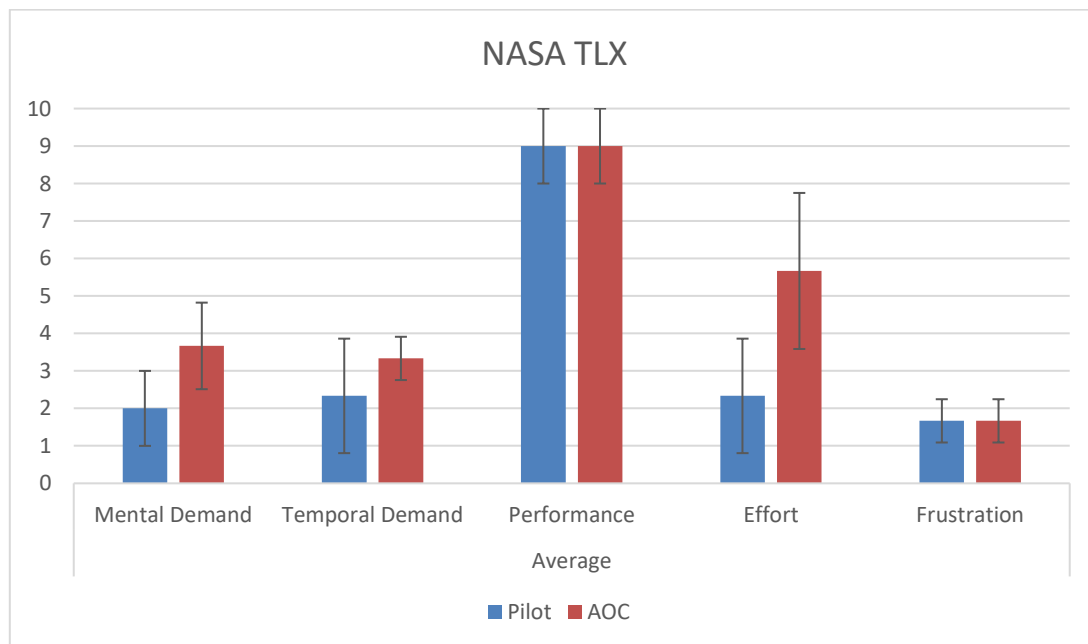


Abbildung 40 NASA Task Load Index Szenario 3b

Die ergänzenden Fragen zum Situationsbewusstsein sind in Abbildung 41 dargestellt. Die Fragen werden generell von beiden Gruppen positiv bewertet. Die Fragen ob zu viel Fokus auf ein Problem

gelegt wurde, ob ein Risiko bestand etwas zu vergessen und ob die Arbeit so organisiert werden konnte wie gewünscht wurde von den Dispatchern schlechter als von den Piloten bewertet.

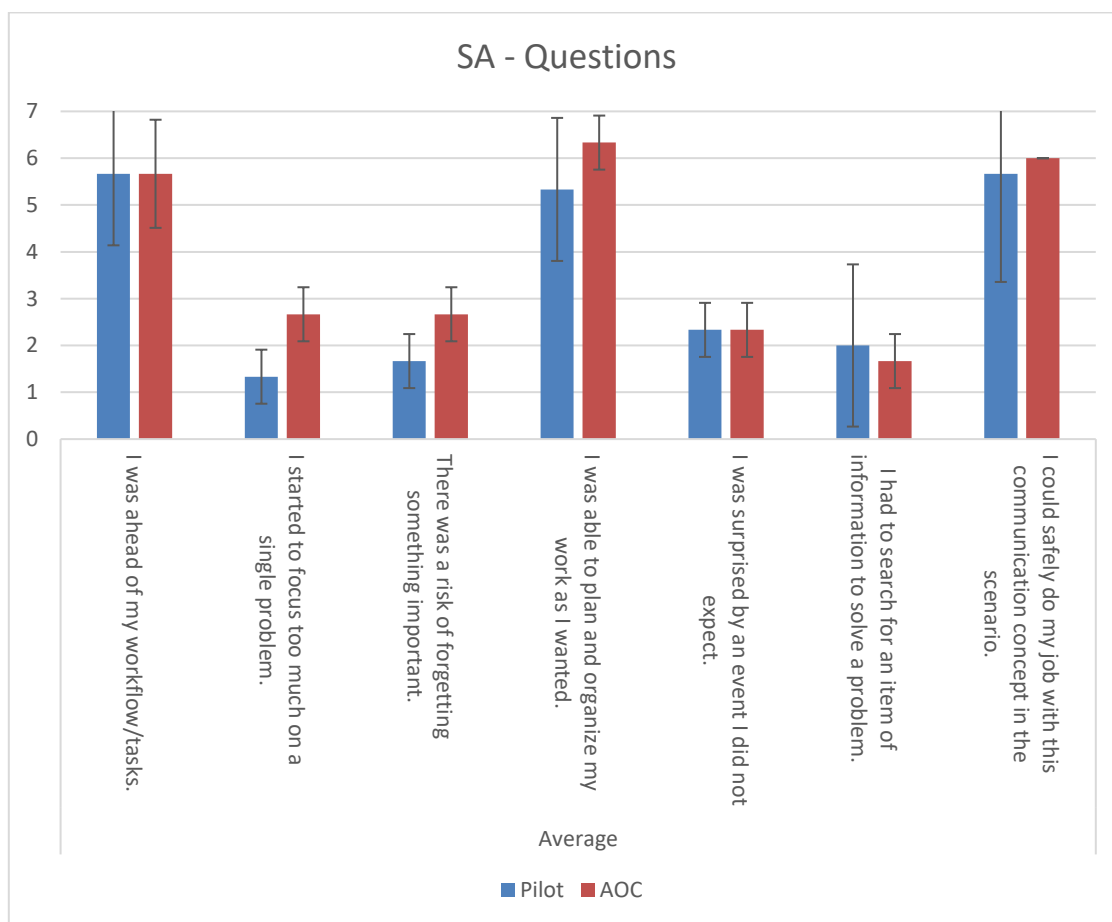


Abbildung 41 Fragen zum Situationsbewusstsein Szenario 3b

3.5 Fazit

Die im Sommer 2016 bei Jeppesen durchgeführte Versuchsreihe zeigt eine generell hohe Akzeptanz sowohl bei Piloten als auch bei Dispatchern für das evaluierte Kommunikationskonzept. Das Situationsbewusstsein wird für alle Versuchsreihen sowohl von Piloten als auch Dispatchern als mittel bis hoch bewertet. Einzelne Unterschiede deuten darauf hin wie der konkrete Ablauf der Kommunikation bzw. deren Darstellung optimiert werden kann.

Direkte Rückschlüsse lassen sich auch aus den Antworten der Piloten und Dispatcher auf die offenen Fragen ziehen. Hierbei wird das sektorlose Luftraum Konzept z.B. als sehr positiv hervorgehoben. Zitat: „positiv sind größere Directs, einfachere Koordinierung, die Kommunikation mit dem AOC und Workload-Reduzierung da viele Frequenzwechsel entfallen, keine negativen Aspekte genannt“.

Eine stärkere Einbindung des AOC in die Entscheidungsprozesse bei der Flugsicherung & im Cockpit wird begrüßt. Jedoch bietet das hier vorgestellte Konzept noch Optimierungspotential wie genau die Interaktion und die Darstellung erfolgt. Zitat: „Zu beachten ist, dass AOC und ATC untereinander auch in ICAO Phraseologie kommunizieren sollten, sehr gut wird erachtet, dass das AOC zukünftig nicht nur Reagieren sondern auch agieren/kontrollieren/beeinflussen kann, es muss geklärt werden, ob an ATC ein senden von „Confirm“ notwendig ist“.

Des Weiteren wurde die Möglichkeit einer direkten Kommunikation zwischen dem Dispatcher, Fluglotsen sowie Piloten in einer Art Gruppenchat diskutiert. Zitat: „Anregung zum Gruppenchat wurde hier genannt, d.h. alle Nachrichten welche zwischen ATC und AOC ausgetauscht werden, werden ebenfalls an die Piloten geschickt, dieser Vorschlag wurde diskutiert mit dem Ergebnis, dass es situationsabhängig ist und der Pilot ggf. auch zu viele unnötige Informationen erhält, und schlussendlich die wichtigen Informationen nicht mehr filtern kann. Es sollte also beim CPDLC Sender möglich sein die Empfänger gesondert auszuwählen und um doppelte Arbeit zu vermeiden ggf. die Nachrichten auch an die Piloten zu schicken welche Sie direkt betreffen.“

Zusammenfassend kann eine generelle Eignung des operationellen und des Kommunikationskonzepts aus Piloten und Dispatcher Sicht festgestellt werden. Verbesserungen sind insbesondere in der Darstellung der Informationen in den entsprechenden Applikationen möglich. Wie auch eine Einbindung erweiterter Kommunikationsmöglichkeiten um für die jeweils dynamische Situation die besten Kommunikationsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen.

3.6 Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Der besseren Übersichtlichkeit halber werden im Folgenden die Ziele und deren Erreichungsgrad in einer Tabelle dargestellt.

Vorgegebenes Ziel	Erreichungsgrad
Verringerung des Koordinationsaufwandes an Sektorgrenzen	Ziel erreicht. Dieses Ziel lag vorrangig im Fokus der DFS und konnte durch das Konzept nachgewiesen werden (s. dazu die Dokumentation zur Versuchsauswertung durch die DFS). Zwar fiel der Koordinationsaufwand in dem Maße weg, wie Sektoren zum sektorlosen Luftraum zusammengelegt wurden, jedoch wurde im Konfliktfall auch neuer Koordinationsaufwand induziert durch die Koordination der betroffenen Einzelflüge zwischen den kontrollierenden Lotsenteams.
Möglichkeiten zur Realisierung taktischer Präferenzen der Luftverkehrsgesellschaften in Abstimmung mit der Flugsicherung	Ziel wurde erreicht. Das Kommunikationskonzept erlaubte die Übermittlung der Präferenzen und die Einigung auf entsprechende Maßnahmen bei alle beteiligten Instanzen (AOC, ATC, LFZ).
Erarbeiten eines Kommunikationskonzeptes zur Abstimmung AOC, ATC und LFZ	Ziel wurde vollständig erreicht.
Bearbeitung der bordseitigen Erfordernisse zur Realisierung des Konzeptes. Dies beinhaltet unter anderem die erforderliche technische Ausrüstung des Luftfahrzeuges sowie die Anforderungen an die bordseitige Darstellung der Lufträume, der zu fliegenden Trajektorie sowie der Elemente zur Kommunikation mit dem betreuenden Lotsenteam.	Ziel erreicht mit Ausnahme der Anforderungen an die technische Ausrüstung. Da aufgrund der veränderten technischen Gegebenheiten der Verkehrssimulation bei der DFS ein neues, vollständiges Luftverkehrs-Simulationssystem mit Hilfe der TU Braunschweig bei Jeppesen etabliert wurde, wurde der Aspekt der technischen Ausrüstung nicht näher eingehend betrachtet. Stattdessen rückte die Abbildung der operationellen Abläufe durch die neu erstellte Simulation

	und damit die Schnittstellen sowohl an Bord als auch am Boden stärker in den Fokus.
Erstellung der identifizierten Schnittstellen und Integration in ein Simulationssystem. Anschließende Validierung und abschließende Auswertung.	Ziel wurde vollständig erreicht.
Aufbau eines repräsentativen ATM Simulationssystems durch Zusammenschluss zweier bestehender Systeme von Jeppesen und der TU Braunschweig (Gegenstand des Aufstockungsantrages).	Ziel vollständig erreicht. Beide Systeme wurden integriert und bei Jeppesen in Neu-Isenburg installiert sowie für die Simulationskampagnen eingesetzt.

3.7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen von Projektbeginn bis einschließlich des gesamten Jahres 2016 befinden sich im folgenden Zwischennachweis für das Jahr 2016. Das Projekt endete im März 2017.

Graue Felder bitte nicht ausfüllen (gelten nur für interne Zwecke)

Jeppesen GmbH

GZ: TeFiS

X	Zwischennachweis für Zuwendungen auf Kostenbasis
	Kostennachweis für Zuwendungen auf Kostenbasis ¹⁾

FKZ 20V1301C
PT-LF , Johst

Jeppesen GmbH
Frankfurter Str. 233, 63263 Neu-Isenburg

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Projekträger Luftfahrtforschung
Königswinterer Str. 522-524
53227 Bonn

Laufzeit: 01.01.2016 bis 31.12.2016

Finanzdaten vom: 24.05.2017
Bundesanteil: 50,00 %
ESF-Anteil:
Zahlungen 2016: 147.894,20 EUR
Kassenbestand 2015: -51.494,48 EUR
Kassenbestand zur Verrechnung: -51.494,48 EUR

Alle Beträge in Euro (€)

1	2	3	4	5	6
Position Gesamtvorkalkulation	Anerkannte Kosten bis einschl. 2015	Entstandene Kosten für 2016	Anerkannte Kosten für 2016	Entstandene Kosten insgesamt bis einschl. 2016	Gesamtvorkalkulation
0813	0,00	0,00		0,00	1.000,00
0823	135.972,00	67.163,00		203.135,00	211.000,00
0837	173.284,44	241.946,68		415.231,12	469.000,00
0838	0,00	0,00		0,00	1.000,00
0847	0,00	0,00		0,00	0,00
0848	0,00	0,00		0,00	0,00
0850	0,00	0,00		0,00	0,00
0856	0,00	0,00		0,00	0,00
0860	0,00	0,00		0,00	0,00
Summe:	309.256,44	309.109,68		618.366,12	682.000,00

		Nachgewiesen	Anerkannt
14	Entstandene Kosten 2016 (Summe von Spalte 3)	309.109,68	
15	Anteil Eigenmittel lt. Vorkalkulation	154.554,84	
16	Anteil Mittel Dritter und Einnahmen lt. Vorkalkulation ohne Zeile 17	0,00	
17	Weitere Mittel Dritter und Einnahmen ohne Zeile 16 (vgl. Nr. 2 NKBF 98, ggf. in Verbindung mit Nr. 9.4)	0,00	0,00
17a)	Gesamt		0,00
17b)	Bundesanteil = 17a x Förderquote		0,00
18	Verbleibender Anteil des Bundes (14 J. 15 J. 16 J. 17b)	154.554,84	
19	Zahlung auf Anteil des Bundes (einschl. Kassenbestand 2015)	96.399,72	
20	Kassenbestand am 31.12.2016 (19 J. 18)	-58.155,12	

Die Bestimmungen des Zuwendungsbeschlusses sind beachtet worden. Die Kosten waren notwendig. Es ist wirtschaftlich und sparsam verfahren worden. Die vorstehenden Eintragungen sind richtig und vollständig und stimmen mit den Büchern und Belegen überein.

Sachlich richtig | rechnerisch richtig (mit EUR)

....., den

Unterschrift(en) des fachl. und adm. Bearbeiters

Diese Daten wurden vollständig und richtig erfasst

von: am:

Geprüft:

Neu-Isenburg, den 24.05.2017...
JEPPESEN GmbH
Rechtsverb. Unterschrift des Empfängers
D-63263 Neu-Isenburg

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 433864-13

¹⁾ Dieser Ausdruck ist ausschließlich als KOSTENNACHWEIS zur Abrechnung des 4. Quartals des Vorjahres zu verwenden, wenn der Zwischennachweis vor seiner Fälligkeit nicht bis zur 1. Zahlungsanforderung im neuen Jahr vorgelegt werden kann (Zutreffendes bitte ankreuzen und Spalte 5 nicht ausfüllen; vgl. Hinweise für Zahlungsempfänger).

3.8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch die Kooperation von Jeppesen mit der DFS und den anderen Partnern des Verbundprojektes konnte ein Simulationssystem für ein zukünftiges Luftverkehrsmanagement System, dessen Erfolg sich auf die gleichzeitige Verfügbarkeit einheitlicher und aktueller Information stützt, geschaffen werden. Die Weiterentwicklung bestehender Systeme zu innovativen, komplexen Systemen für ein zukünftiges Luftverkehrsmanagement System, stellt eine enorme Herausforderung dar, deren Risiko für Fehlinvestitionen sich nur durch eine enge Kooperation und ein abgestimmtes Vorgehen aller an diesem System beteiligten Akteure minimieren lässt. Aufgrund komplexer Systemzulassungsvorschriften einerseits, die die Fristen bis zur Einführung von Innovationen sehr weit hinauszögern, und der langfristigen Natur der Investitionen in neue technische Systeme an Bord und am Boden andererseits, kommt einer sehr gründlichen Erforschung offener Fragestellungen eine extrem hohe Bedeutung zu.

Gleichzeitig liegen die Aufwände für Forschung und die Amortisation der Investitionen aufgrund der beschriebenen langen Vorlaufzeit sehr weit auseinander. In vielen Fällen wirkt diese lange Zeitspanne sogar abschreckend. Der im Projekt untersuchte, neue Ansatz für das Flugsicherungskonzept hat Auswirkungen für alle am System beteiligten Partner. Im Falle von TeFiS sind dies die Flugsicherung, die Luftfahrzeuge, die Fluggesellschaften, Hersteller von Bordausrüstung (Avionik) und Herausgeber aeronautischer Informationen. Ein derartiges Forschungsprojekt ist daher im Verbund sinnvoll und erfolgreich durchzuführen und die Gefahr der Entwicklung von Insellösungen, die gegenläufig und inkompatibel zu den Interessen anderer beteiligter Akteure des Systems sind, kann von vornherein minimiert werden. Die Verbundforschung im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogrammes bietet eine ideale Plattform um diese Akteure in der Forschung zusammenzubringen. Ein konzertiertes Vorgehen minimiert das wirtschaftliche Risiko von Fehlentwicklungen, die bei kooperativen Systemen mit hohem Integrationsgrad außerordentlich stark ausgeprägt sind.

Der konkrete Anreizeffekt bestand für Jeppesen insbesondere in der Erhöhung der Projektreichweite: Nach der detaillierten Analyse des ATM Simulationssystems bei der DFS stellte sich heraus, dass die in diesem Antrag beschriebenen Aspekte zur Mensch-Maschine-Interaktion auf der Cockpitseite und im Flugplanungsbüro durch das bestehende Simulationssystem alleine nicht abgedeckt werden können. Durch die Zuwendung konnte die Wahrscheinlichkeit der Vollständigkeit der wissenschaftlichen Ergebnisse signifikant erhöht werden. Weiterhin verbesserten die hierdurch möglichen umfassenden Untersuchungen die Chancen auf eine Implementierung der bord- und bodenseitigen Technologien in zukünftigen Produkten. Gleichzeitig wurde die Gefahr eines zumindest teilweisen Scheiterns der TeFiS Validierungen erfolgreich eliminiert.

Die im Kontext des Projektes realisierten Simulationssysteme, die entwickelten Verfahren und Prozesse sowie die zugehörigen Algorithmen wurden im Rahmen der Projektmöglichkeiten bestmöglich konzipiert und umgesetzt. Die gesammelten Erfahrungen wird Jeppesen nutzen, um diese in die Produktlinien zur Unterstützung von Kunden (Fluggesellschaften) im Sinne der „Analytics Enabled Airline“ einfließen zu lassen.

3.9 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Es sind während der Projektlaufzeit keine Erfindungen / Schutzrechtsansprüche angemeldet worden.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten können in diesem Stadium noch nicht monetär beziffert werden. Diese sind für die Firma Jeppesen jedoch konkret im Bereich des Dienstleistungsportfolios für Airlines zu finden. Im heutigen Luftverkehrssystem befindet sich das größte Einsparpotenzial nicht mehr in der Antriebstechnik oder Aerodynamik, sondern im Air Traffic Management und damit im operationellen Betrieb einer Airline. Die Ergebnisse fließen bei Jeppesen in die kommende Generation des Disruption Managements ein, das auf der Analyse der aktuellsten Daten und derzeitigen Prioritäten der Airline beruht, um daraus Entscheidungen ableiten zu können, die im Sinne einer Gesamtoptimierung der Erreichung der Ziele dienen.

Um diese Präferenzen im realen Betrieb auch umsetzen zu können, müssen diese in das System hinein an die beteiligten Partner kommuniziert werden und den Entscheidungsträgern mitgeteilt werden. Im Falle von TeFiS ist entstanden so die Möglichkeit der Kommunikation mit der Flugsicherung, die hierdurch das „first-come-first-served“ Prinzip im Sinne der Serviceerweiterung nach anderen Präferenzen für ihre Kunden öffnen konnte.

3.10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während des Vorhabens sind keine neuen Fortschritte oder Ergebnisse auf diesem Gebiet bekannt geworden.

3.11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im Rahmen des Projektes erfolgten keine Veröffentlichungen und diese sind zum jetzigen Zeitpunkt auch nicht geplant.