

Interner Bericht

DLR-IB-FT-BS-2025-88

Evaluierung eines Ausweich- flughafenassistenzsystems mittels einer Pilotenstudie

Hochschulschrift

Autor: Alexander Paul

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Institutsbericht
DLR-IB-FT-BS-2025-88

Evaluierung eines Ausweichflughafenassistenzsystems mittels einer Pilotenstudie

Alexander Paul

Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Flugsystemtechnik
Abteilung Flugdynamik und Simulation

Stufe der Zugänglichkeit: I, Allgemein zugänglich: Der Interne Bericht wird elektronisch ohne Einschränkungen in ELIB abgelegt.

Braunschweig, den 09.05.2025

Institutsleitung: Prof. Dr.-Ing. S. Levedag

Abteilungsleitung: Dr.-Ing. H. Duda

Betreuer:in: J. I. González Cabeza

Verfasser:in: A. Paul





Evaluierung eines Ausweichflughafenassistenzsystems mittels einer Pilotenstudie

Masterarbeit

Alexander Paul



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit eigenständig und eigenhändig nur mit den im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen verfasst habe.

Braunschweig, 19. März 2025

Paul, Alexander

Dokumenteigenschaften

| | |
|----------------|--|
| Titel | <u>Evaluierung eines Ausweichflughafenassistenzsystems mittels einer Pilotenstudie</u> |
| Matrikelnummer | <u></u> |
| Institut | <u>Institut für Flugsystemtechnik FT-FDS</u> |
| Erstellt von | <u>Alexander Paul</u> |
| Betreuer | <u>Dipl. -Ing. Joan Iñaki González Cabeza M.Sc</u> |
| Datum | <u>19.03.2025</u> |

Abstract

As part of the NICO project, the DLR (German Aerospace Center) is researching various aspects of the system architecture of future, highly automated cockpits. One research aspect is covered by the virtual co-pilot. Among other things, this is intended to simplify the handling of abnormal situations during the flight.

For this purpose, the Institute of Flight Systems at the DLR developed a prototype of an assistance system designed to support pilots in selecting an alternate airport. In the present work, this assistance system is evaluated with the help of a pilot study. The aim of the study is to examine the functions implemented in the assistance system with regard to their usability and implementation, so that possible improvements can be incorporated into the further development of the assistance system. In order to carry out the study, the methodology for evaluating the assistance system is developed in the course of the work. This was geared towards investigating the research question of the extent to which the functions of the assistance system can be meaningfully expanded. Furthermore, three theses are examined in the course of the study. These theses analyze differences between the age groups and types of routes flown by the pilots, as well as between the functions. 14 pilots took part in the study, which was conducted as an online meeting. They tested the assistance system during the study by working through two scenarios. The data collected is divided into qualitative data and quantitative data. The qualitative data was obtained by analyzing the comments from the online meetings. The quantitative data was collected using a survey that the pilots completed after the online meeting. The study helped to identify various ways in which the functions could be expanded. Furthermore, the theses examined provide insights into the benefits of the individual functions with regard to support in deciding on an alternative airport.

Kurzfassung

Im Rahmen des Projekts NiCo (Next Generation Intelligent Cockpit) erforscht das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) verschiedene Aspekte der Systemarchitektur zukünftiger, hochautomatisierter Cockpits. Ein Forschungsaspekt wird durch den sogenannten virtuellen Co-Piloten abgedeckt. Dieser soll unter anderem den Umgang mit (potenziellen) Notsituationen während des Fluges vereinfachen.

Zu diesem Zweck wurde am Institut für Flugsystemtechnik des DLR ein Prototyp eines Assistenzsystems entwickelt, der die Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen soll. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Prototyp mithilfe einer Pilotenstudie evaluiert. Ziel der Studie ist es, die im Prototyp implementierten Funktionen hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit und Umsetzung zu untersuchen, damit eventuelle Verbesserungen in die Weiterentwicklung des Prototyps einfließen können. Zur Durchführung der Studie wird im Verlauf der Arbeit die Methodik zur Evaluierung des Prototyps entwickelt. Diese wurde darauf ausgerichtet, die Forschungsfrage zu untersuchen, inwieweit die Funktionen des Prototyps sinnvoll erweitert werden können. Des Weiteren werden im Rahmen der Studie Thesen untersucht, die die Unterschiede zwischen den Altersgruppen und Flugroutenarten der Piloten sowie zwischen den Funktionen des Prototyps thematisieren. An der Studie, die als Online-Meeting durchgeführt wurde, nahmen 14 Piloten teil. Diese testeten den Prototyp während der Studie, indem sie zwei Szenarien bearbeiteten. Die erhobenen Daten können in qualitative und quantitative Daten unterteilt werden. Die qualitativen Daten wurden durch die Analyse der Kommentare aus den Online-Meetings gewonnen. Die quantitativen Daten wurden mithilfe eines Fragebogens erfasst, den die Piloten nach dem Online-Meeting ausfüllten. Mithilfe der Studie konnten verschiedene Aspekte zur Erweiterung der Funktionen des Prototyps identifiziert werden. Darüber hinaus geben die untersuchten Thesen Aufschluss über den Nutzen der einzelnen Funktionen im Hinblick auf die Unterstützung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 11 |
| 1.1. Ziel der Arbeit | 11 |
| 1.2. Vorgehen | 12 |
| 2. Grundlagen | 13 |
| 2.1. Aktuelle Methodik zur Auswahl von Ausweichflughäfen | 13 |
| 2.1.1. Klassifizierung | 13 |
| 2.1.2. FORDEC | 14 |
| 2.1.3. Systeme und Einrichtungen | 16 |
| 2.1.3.1 Flight Management System (FMS) | 16 |
| 2.1.3.2 Navigation Display (ND) | 17 |
| 2.1.3.3 Electronic Flight Bag (EFB) | 18 |
| 2.1.3.4 Airline-Operationszentrum (AOC) | 20 |
| 2.2. Beschreibung des Assistenzsystem-Prototypen | 20 |
| 2.2.1. Feld Scenario Settings | 21 |
| 2.2.2. Feld Aircraft | 22 |
| 2.2.3. Feld Pilot Preferences | 23 |
| 2.2.4. Feld Filter Settings | 23 |
| 2.2.5. Feld numerische Filterung | 24 |
| 2.2.6. Feld Map and Overlays | 26 |
| 2.2.7. Feld Infoboxen | 28 |
| 2.2.8. Feld Vergleichsansicht | 31 |
| 2.3. Studien zur Auswahl von Ausweichflughäfen und zur Evaluierung von Benutzeroberflächen | 33 |

| | |
|---|----|
| 3. Methodik | 36 |
| 3.1. Spezifizierung des Studieninhalts | 36 |
| 3.2. Rahmenbedingungen der Studie | 38 |
| 3.3. Auswahl der Methode | 40 |
| 3.4. Planung der Szenarien | 43 |
| 3.5. Besonderheiten zur Studie | 50 |
| 4. Durchführung der Studie | 52 |
| 4.1. Technische Umsetzung | 52 |
| 4.2. Teilnehmer | 54 |
| 4.3. Ablauf | 56 |
| 5. Auswertung der Studie | 58 |
| 5.1. Anmerkungen | 58 |
| 5.2. Filter Settings | 59 |
| 5.3. Numerische Filterung | 63 |
| 5.4. Map und Overlays | 65 |
| 5.5. Infoboxen | 67 |
| 5.6. Vergleichsansicht | 71 |
| 6. Diskussion und kritische Betrachtung | 76 |
| 6.1. Ergebnisse | 76 |
| 6.2. Kritische Betrachtung der Studie | 79 |
| 6.2.1. Validität der Ergebnisse | 79 |
| 6.2.2. Anmerkungen zu den Ergebnissen und der Evaluierungsmethode | 80 |
| 7. Zusammenfassung und Ausblick | 83 |
| Abbildungsverzeichnis | 85 |
| Tabellenverzeichnis | 86 |

| | |
|-----------------------|----|
| Abkürzungsverzeichnis | 86 |
| Literaturverzeichnis | 87 |
| Anhang | 90 |

1. Einleitung

Die Steigerung der Sicherheit und Effizienz sind in der zivilen Luftfahrt stets zugrunde liegende Handlungsprinzipien. Vor diesem Hintergrund wird am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Rahmen des Projekts Next Generation Intelligent Cockpit (NICo) die Weiterentwicklung des Cockpits auf Basis dieser Prinzipien untersucht. Das Projekt NICo unterteilt sich in mehrere Unterprojekte, in welchen verschiedene Aspekte der Cockpitentwicklung berücksichtigt werden. Unter anderem wird die Unterstützung des Cockpitpersonals durch einen virtuellen Copiloten (VCP) untersucht, der das Ziel verfolgt die Cockpitbesatzung in (potenziellen) Notsituationen zu unterstützen. Weiterhin soll durch den VCP die Arbeitsbelastung der Piloten im Multi Pilot Operation (MPO) Betrieb reduziert werden [2]. Ein Teil des VCP wird durch das Teilprojekt Intelligent Recommendation Interactive System (IRIS) abgedeckt, welches die Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen soll. Dieses System soll im Fall einer (potenziellen) Notsituation (medizinischer Notfall, technischer Defekt, etc.) die Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen [2]. Ein Prototyp eines solchen Assistenzsystems wurde am Institut für Flugsystemtechnik entwickelt und liegt für diese Arbeit in Form eines Computerprogramms mit graphischer Oberfläche vor.

Um den Prototyp des Assistenzsystems zu entwickeln wurde im Rahmen des Projekt NICo [3] eine Vorstudie durchgeführt. In dieser wurde der Entscheidungsfindungsprozess der Piloten im Hinblick auf die Auswahl eines Ausweichflughafens analysiert. Auf Basis dieser Erkenntnisse konnte ein Assistenzsystem-Prototyp mit den zuvor identifizierten Funktionen entwickelt werden, um deren Nutzbarkeit und Umsetzung in weiteren Studien zu analysieren. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Einbettung der zur Auswahl eines Ausweichflughafens notwendigen Informationen und deren entsprechende Darstellung den Anforderungen der Piloten entsprechen. Zu diesem Zweck wird im Rahmen dieser Arbeit der entwickelte Assistenzsystem-Prototyp evaluiert. Hierfür rückt die Betrachtung der Funktionen des Prototyps, sowie die Betrachtung spezifischer Thesen in den Vordergrund.

1.1. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, die Nutzbarkeit und Umsetzung des Assistenzsystem-Prototyps mithilfe einer Pilotenstudie zu evaluieren. Diese soll darüber Aufschluss geben, inwiefern die Funktionen des Assistenzsystem-Prototyps sinnvoll erweitert werden können. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass es sich beim umgesetzten Assistenzsystem lediglich um einen Prototyp handelt, der die Anforderungen an die Visualisierung, sowie die Bedienbarkeit eines praxistauglichen Assistenzsystems nicht abbilden kann. In der Folge sind die Bewertung der Darstellungen und des Human Machine Interface (HMI) Designs ein untergeordneter Teil dieser Arbeit. Die Erfassung der Rückmeldungen der Piloten geschieht mithilfe einer Studie. In dieser werden die Funktionen des Prototyps unter anderem mithilfe von Fragebögen bewertet. Die zugrundeliegende Fragestellung ist demnach, inwiefern die Funktionen des Prototyps sinnvoll erweitert werden können, um den Anforderungen der Piloten zu entsprechen. Hierfür sind insbesondere zwei der acht vom Prototyp bereitgestellten Funktionen von Interesse. Diese bilden einerseits eine Funktion zum numerischen Filtern, als auch einen Vergleich zwischen zwei Flughäfen mithilfe von Balkendiagrammen ab.

Weiterhin ist es das Ziel der Arbeit eine Methodik zu entwickeln, die es ermöglicht eventuelle Funktionserweiterungen des Assistenzsystem-Prototypen zu identifizieren. Zudem soll die Auswertung um die

Betrachtung von spezifischen Thesen erweitert werden, um die Optimierung des Prototyps im Hinblick auf die untersuchten Gruppen und Funktionen erfassen zu können. Diese werden in Kapitel 3.1 beschrieben. Ziel der Arbeit ist es zudem, die Studie durchzuführen, auszuwerten sowie die Ergebnisse zu diskutieren und zu dokumentieren.

1.2. Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in sieben Kapitel. In Kapitel 2 werden die Grundlagen erläutert, die zum Verständnis dieser Arbeit wichtig sind. Hierfür wird zunächst erläutert, in welche Kategorien Ausweichflughäfen eingeteilt werden. Weiterhin wird in diesem Kapitel die FORDEC-Methode beschrieben, die die Piloten zur strukturierten Entscheidungsfindung anwenden. Außerdem wird auf die bestehenden Systeme und Einrichtungen eingegangen, die die Piloten nach aktuellem Stand der Technik bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen. Darüber hinaus beinhaltet dieses Kapitel die Beschreibung des Assistenzsystem-Prototyps. In diesen sind verschiedene Funktionen implementiert, die im Verlauf des Kapitels schrittweise erläutert werden. Außerdem werden Studien erläutert, die die Evaluierung eines Assistenzsystems sowie die Evaluierung von Benutzeroberflächen thematisieren.

In Kapitel 3 wird die Methodik der Arbeit erläutert. Hierfür wird zunächst begründet, weshalb die numerische Filterung und die Vergleichsansicht von besonderem Interesse für die Arbeit sind. Weiterhin werden die zu untersuchenden Thesen detailliert erläutert. Das Kapitel definiert zudem die Rahmenbedingungen, die bei der Planung der Studie zu beachten sind. Weiterhin werden die unterschiedlichen Methoden zur Durchführung einer Studie erläutert und die für die hiesige Studie zu verwendende Methode ausgewählt. In den weiteren Unterkapiteln wird diese durch die Planung der Szenarien, die während der Studie durch die Piloten bearbeitet werden, schrittweise konkretisiert. Zudem werden die Besonderheiten zur Durchführung der Studie thematisiert.

In Kapitel 4 wird auf die Durchführung der Studie eingegangen. Da die Studie als Onlinemeeting durchgeführt wird, werden in diesem Kapitel die benötigten Geräte und Softwareanwendungen aufgeführt. Zudem wird auf die berufliche Erfahrung der Teilnehmer sowie den zeitlichen Ablauf der Studie eingegangen.

In Kapitel 5 erfolgt die Auswertung der Studie. Im ersten Unterkapitel werden Einschränkungen betrachtet, die bei der Auswertung der Studie zu berücksichtigen sind. Anschließend wird die Studie entsprechend der einzelnen Funktionen des Prototyps ausgewertet. Hierfür werden für jede Funktion die qualitativen Daten aus den Onlinemeetings und die quantitativen Daten aus dem Fragebogen analysiert.

In Kapitel 6 werden die gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst sowie einer kritischen Betrachtung unterzogen und diskutiert. Weiterhin wird die Validität der Ergebnisse untersucht.

Das Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zum Verständnis des Prototyps erläutert. Hierfür werden zunächst die Kategorien von Ausweichflughäfen sowie die aktuelle Methodik zur Auswahl eines Ausweichflughafens erläutert. Weiterhin beinhaltet dieses Kapitel die bereits bestehenden Systeme zur Unterstützung der Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens und zeigt die Funktionen des entwickelten Prototyps auf. Das Kapitel schließt mit der Analyse von vorhandenen Studien und bezieht diese auf den hiesigen Anwendungsfall.

2.1. Aktuelle Methodik zur Auswahl von Ausweichflughäfen

Die Suche nach einem Ausweichflughafen ist für die Cockpitbesatzung nach aktuellem Stand der Technik mit einem hohen manuellen Arbeitsaufwand verbunden. Die zur Auswahl eines Ausweichflughafens relevanten Informationen (Wetterdaten, Flugzeugperformance, Landeperformance, etc.) werden von verschiedenen Systemen bereitgestellt und müssen von den Piloten kombiniert bzw. zum Teil manuell von einem in das andere System übertragen werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Kategorien von Ausweichflughäfen vorgestellt sowie die Vorgehensweise unter Verwendung der bestehenden Systemarchitektur erläutert. Diese bezieht sich für die nachfolgenden Erläuterungen auf das Flugzeugmuster Airbus A320.

2.1.1. Klassifizierung

Nach den EASA Air Operations [4] werden vier Kategorien von Ausweichflughäfen unterschieden. Eine Kategorie wird durch sogenannte Destination Alternates repräsentiert, welche die Piloten in Betracht ziehen, falls eine Landung am Zielflughafen nicht möglich ist. Hierfür können beispielsweise ungünstige Wetterbedingungen am Zielflughafen verantwortlich sein. Die zweite Kategorie, in die Ausweichflughäfen eingeteilt werden können, sind sogenannte En-Route Alternates. Diese Flughäfen liegen auf der Flugroute und werden beispielsweise bei technischen Defekten oder Zwischenfällen in der Kabine während des Fluges in Betracht gezogen. Die dritte Kategorie von Ausweichflugplätzen wird durch sogenannte Reduced Contingency Fuel Alternates abgebildet. Bei diesen handelt es sich um Flugplätze, die aufgrund einer geringen Treibstoffberechnung in Betracht gezogen werden. Stellt sich an einem vordefinierten Punkt der Flugroute (engl. Pre-determined Point) heraus, dass aufgrund eines Mehrverbrauchs im Reiseflug nicht ausreichend Treibstoff vorhanden ist um am eigentlichen Zielflughafen mit der erforderlichen Mindestreserve zu landen, wird dieser Ausweichflughafen angeflogen. Die vierte Kategorie von Ausweichflughäfen wird durch sogenannte Take-Off Alternates repräsentiert. Bei dieser Kategorie handelt es sich um Flughäfen, die angeflogen werden, wenn beim Start oberhalb der Startabbruchgeschwindigkeit ein Defekt auftritt, der eine vorzeitige Landung erfordert (z.B. Triebwerksausfall). Da die Sichteinschränkungen beim Start weniger restriktiv, als die bei der Landung sind, kann ein Take-Off Alternate notwendig sein.

Um einen Flugplan nach Instrumentenflugregeln durchzuführen, muss nach den Vorschriften der ICAO Annex 6 [5], den EASA Air Operations [4] und FAA FAR 91 [6] mindestens ein Ausweichflughafen im Flugplan angegeben werden. In der Regel werden von den Airlines allerdings mehrere Ausweichflughäfen unterschiedlicher Kategorien für die Flugplanung erfordert. Für diese Ausweichflughäfen, welche im Flugplan berücksichtigt sind, werden relevante Flughafen- und Wetterdaten in der Vorbereitung des Fluges eingeholt und im Briefing diskutiert. Während des

Fluges wird das Wettergeschehen und weitere relevante Flughafendaten an den im Flugplan ausgewählten Ausweichflughäfen stetig überwacht [7].

Da während eines Fluges unvorhersehbare Zwischenfälle (z.B. medizinischer Notfall, Systemausfall, Wetterverschlechterung, Flughafenschließung) auftreten können, die eine Landung auf einem Ausweichflughafen erfordern, der nicht im Flugplan erfasst ist, benötigen die Piloten entsprechende Systeme, um auch im Flug einen geeigneten Ausweichflughafen zu identifizieren. Die Diversität an möglichen Zwischenfällen in Verbindung mit dem auftretenden Zeitpunkt, der vorhandenen Topographie und der vorliegenden Wetterlage ist zu hoch, als dass in der Praxis für jedes mögliche Szenario ein Ausweichflughafen in der Flugvorbereitung abgebildet werden kann. Daher liegt ein Bedarf vor auch während des Fluges auf Zwischenfälle reagieren zu können.

2.1.2. FORDEC

Bei der FORDEC Methode handelt es sich um eine vom DLR entwickelte Methodik zur strukturierten Entscheidungsfindung [1], welche infolge der Einführung des Crew-Resource-Management Trainings entwickelt wurde. FORDEC ist eine allgemein gültige Methodik zur Entscheidungsfindung, wird allerdings häufig in der Luftfahrt angewendet. Seit ihrer Einführung im Jahr 1994 hat sich die FORDEC-Methode bewährt und gilt zumindest im deutschsprachigen Raum als etablierter Standard für Entscheidungsfindungsprozesse in der Luftfahrt.

Unter Verwendung des FORDEC Modells wird folglich auch die Entscheidung zur Auswahl eines Ausweichflughafens vorgenommen. Das Akronym FORDEC setzt sich dabei wie folgt zusammen:

Facts: Welche Fakten zur Situation liegen vor? Zu diesen zählen unter anderem die aktuelle Position, der Flugzeugzustand und die verbleibende Treibstoffmenge. Als beispielhafte Zwischenfälle im luftfahrttechnischen Kontext könnten hier ein Fehler des Klappensystems oder ein Vogelschlag identifiziert werden.

Options: Welche Handlungsoptionen liegen bei dem aufgetretenen Zwischenfall vor? Im vorliegenden Szenario könnten das die Landung auf einem nahegelegenen Flughafen oder eine Fortführung des Fluges sein.

Risks & Benefits: Welche Risiken und Vorteile bieten die einzelnen Handlungsoptionen? Im hiesigen Fall wäre die Fortführung des Fluges als Vorteil für die Passagiere zu bewerten, welche ihr Ursprungsziel erreichen würden. Als Risiken könnte jedoch eine Erhöhung der benötigten Landebahnlänge sowie des Treibstoffverbrauchs identifiziert werden.

Decision: In diesem Schritt wird die beste Handlungsoption ausgewählt. Im vorliegenden Fall wäre das zum Beispiel die vorzeitige Landung auf einem nahegelegenen Flughafen.

Execution: In diesem Schritt wird die gewählte Handlungsoption durchgeführt. Im Beispiel ist dies die sichere Durchführung des Fluges zum Ausweichflughafen unter Berücksichtigung der Standard Operation Procedures (SOP).

Check: In diesem Schritt wird die korrekte Ausführung überwacht sowie an eventuelle Änderungen angepasst. Im hiesigen Fall ist das die kontinuierliche Überwachung des Fluges zum Ausweichflughafen. Sollten weitere unerwartete Ereignisse bei der Ausführung auftreten, wird durch den Check ein erneutes FORDEC erforderlich.

In Abbildung 2-1 ist die Verfahrenskette bei der Durchführung eines FORDEC graphisch dargestellt.

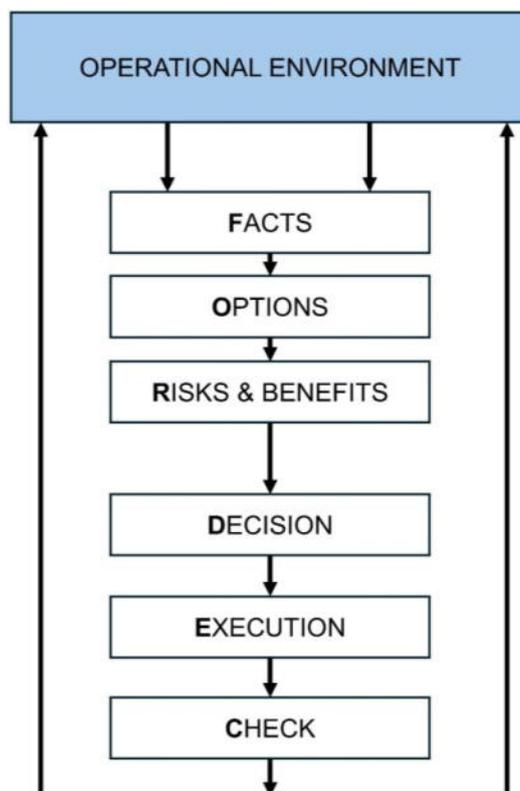


Abbildung 2-1: FORDEC Modell nach [1]

Bei der Auswahl eines Ausweichflughafens sind insbesondere die Punkte Options und Risks & Benefits von Bedeutung. In Options werden im Falle einer erforderlichen Ausweichlandung alle Flughäfen berücksichtigt, die unter Beachtung der Facts für eine Landung infrage kommen. Weiterhin müssen in Risks & Benefits die Vor- und Nachteile dieser Flughäfen ermittelt und bewertet werden. Für die Bearbeitung dieser Aufgaben stehen der Cockpitbesatzung je nach Dringlichkeit mehrere Systeme und Ansprechpartner (z.B. Airline Operations Center) zur Verfügung, die im folgenden Abschnitt erläutert werden.

2.1.3. Systeme und Einrichtungen

Während des Fluges auftretende Zwischenfälle (engl. Abnormals) können in zwei Kategorien eingeteilt werden. Es wird zwischen emergency Procedures und abnormal Procedures unterschieden. Im Hinblick auf den Faktor Zeit können diese beiden Kategorien auch als zeitkritische und zeitunkritische Abnormals eingeteilt werden. Der Begriff Abnormal umfasst dabei jegliche Zwischenfälle, die bei der Durchführung des Fluges auftreten können. Diese können technische Fehler, aber auch medizinische Notfälle in der Kabine oder kriminelle Handlungen beinhalten. Im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch ausschließlich technische Fehler berücksichtigt, da diese einen Großteil der auftretenden Abnormals ausmachen und deren Bearbeitung in Form von Handbüchern dokumentiert ist.

Die Systemfehler des Gesamtsystems Flugzeug können ebenfalls in zeitkritische und zeitunkritische Fehler eingeteilt werden. Ein zeitkritischer Fehler zeichnet sich dadurch aus, dass eine sichere Fortführung des Fluges nicht möglich ist. Ein Beispiel hierfür wäre ein Feuer in der Kabine, was die Cockpitbesatzung zu einer Notlandung auf dem nächstmöglichen Flughafen zwingt.

Im Gegensatz dazu stehen zeitunkritische Fehler, welche eine sichere Fortführung des Fluges vorerst nicht behindern. Ein Beispiel dafür wäre ein Fehler der Störklappen, welche zwar einen Einfluss auf die benötigte Landebahnlänge aufweisen, bei der Durchführung des Reisefluges jedoch nicht von Bedeutung sind.

Für die Nutzung der flugzeugeigenen Systeme und Unterstützungsmöglichkeiten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens nimmt der vorliegende Systemfehler eine zentrale Rolle ein, da je nachdem ob der Fehler zeitkritisch oder zeitunkritisch ist, unterschiedliche Systeme zu Rate gezogen werden. Im Hinblick auf die Suche nach einem Ausweichflughafen wird zwischen zwei Optionen unterschieden. Diese werden im Englischen als first suitable option und best suitable option bezeichnet. Für zeitkritische Fehler ist die erstmögliche geeignete Option (first suitable option) in Betracht zu ziehen, während bei zeitunkritischen Fehlern, die am besten geeignete Option (best suitable option) gesucht wird. Im Folgenden werden die einzelnen Systeme und deren Nutzung unter Berücksichtigung des Systemfehlers erläutert.

2.1.3.1 Flight Management System (FMS)

Das Flight Management System ist ein System zur Unterstützung der Cockpitbesatzung bei der Flugsteuerung und Navigation [8]. Durch die Eingabe des Flugplans (Wegpunkte, Funkfrequenzen, usw.) ist die vorgesehene Flugroute im FMS hinterlegt. Die Oberfläche zur Eingabe der Daten wird als MCDU (Multipurpose Control and Display Unit) bezeichnet. Mithilfe der Kopplung des FMS mit der Trägheitsnavigation, kann das FMS die exakte Position des Flugzeugs zu jedem Zeitpunkt des Fluges bestimmen. Weiterhin sind moderne FMS-Systeme mit verschiedenen weiteren Systemen des Flugzeugs gekoppelt (z.B. Autopilot) und können somit diverse Flugaufgaben übernehmen. Bei Airbus wird dieses System auch als Flight Management and Guidance System (FMGS) bezeichnet. Das FMS bildet zudem die Berechnung von Landestrecken und Treibstoffverbräuchen ab. In der Praxis wird dieses System auch als Bordcomputer bezeichnet, da alle für den Flug relevanten Daten in diesem System hinterlegt sind.

Durch die hinterlegte Flughafendatenbank in Kombination mit der aktuellen Position, kann das FMS die nächstgelegenen Flugplätze im Bezug auf die aktuelle Position anzeigen. Diese Funktion kann für die Suche nach einem Ausweichflughafen in zeitkritischen und zeitunkritischen Situationen genutzt werden. Im FMS werden relevante Flughafendaten angezeigt, sowie eine direkte Routenführung zu diesen Flugplätzen angeboten. Im zeitkritischen Fehlerfall kann über das FMS schnell der nächstgelegene Flughafen identifiziert und ausgewählt

werden. Im zeitunkritischen Fehlerfall wird das FMS jedoch häufig nicht als Informationsquelle genutzt, da die Ausgaben des FMS lediglich digital sind und somit keine graphische Darstellung, beispielsweise auf einer Karte, möglich ist. Daher gestaltet sich die Suche nach der best suitable option für die Piloten mithilfe anderer Flugzeugsysteme einfacher. In Abbildung 2-2 ist eine MCDU eines A320 dargestellt [9].



Abbildung 2-2: MCDU eines A320 (Quelle [9])

2.1.3.2 Navigation Display (ND)

Das Navigation Display zeigt in verschiedenen Modi unterschiedliche Parameter an. Je nach Auswahl der Cockpitbesatzung können Wegpunkte des Flugplans, Informationen zur Wetterlage aus dem flugzeugeigenen Wetterradar, verschiedene Kategorien von Bodenstationen, deren Richtungen und weitere navigatorisch wichtige Punkte angezeigt werden [10]. Das Navigation Display bietet zudem die Möglichkeit, die in der Datenbank des FMS hinterlegten Flugplätze in verschiedenen Entfernungen anzuzeigen. Im Gegensatz zur digitalen Anzeige des FMS, kann die Cockpitbesatzung die Position der Flughäfen im Bezug auf die aktuelle Position einsehen und diese besser mit der ursprünglichen Flugroute vergleichen. Insbesondere für zeitkritische Fehler bietet sich dieses System zur Suche nach einem Ausweichflughafen an, da die Cockpitbesatzung schnell visuell erfassen kann, welche Flughäfen in unmittelbarer Nähe liegen. In zeitunkritischen Situationen wird das Navigation Display kaum für die Suche nach Ausweichflughäfen verwendet, da für diese Fehler besser geeignete Systeme für die Suche nach der best suitable option existieren, welche in den weiteren Unterkapiteln erläutert werden. Abbildung 2-3 zeigt ein Navigation

werden, in welchen Schwenken oder Zoomen möglich ist. Weiterhin können hier interaktive Flugleistungsberechnungen und dynamische Wetterinformationen abgerufen werden. Auch das Einbinden von Überwachungskameras der Kabine ist in diesem Softwaretyp möglich. Der Softwaretyp C erweitert die vorhergehenden Softwaretypen mit einer Kopplung der Flugzeugsysteme. So kann dieser Softwaretyp eine Schnittstelle zu den flugzeugeigenen Anzeigen und Steuerungscomputern abbilden [13]. Dieser Softwaretyp C benötigt aufgrund der engen Vernetzung mit dem Flugzeug eine gesonderte Zulassung der Luftfahrtbehörden (FAA, EASA) und ist daher in der Praxis kaum vertreten.

Für den Linien- und Charterflugverkehr sind insbesondere EFB des Softwaretyp B von Relevanz, da diese alle relevanten Dokumente und Karten anzeigen können, ohne eine gesonderte Zulassung der Luftfahrtbehörden zu benötigen.

Für die Suche nach einem Ausweichflughafen werden insbesondere EFB zu Rate gezogen. Sie sind dabei für zeitkritische und zeitunkritische Fehler gleichermaßen geeignet. Über die interaktive Karte können die Piloten die beste Option durch die Auswahl spezieller Filterkriterien ausmachen. Die EFB der Airlines bieten dafür spezielle Overlays für diverse Fehlerfälle an. So können beispielsweise Flughäfen leicht ausgemacht werden, die sich für eine Landung im Fall eines medizinischen Notfalls besonders eignen. Weiterhin können operationelle Aspekte durch die interaktive Karte abgebildet werden. In Abbildung 2-4 ist ein EFB mit einer Softwareanwendung des Typs B zu sehen [14].



Abbildung 2-4: EFB des Typs B (Quelle [14])

2.1.3.4 Airline-Operationszentrum (AOC)

Eine weitere Möglichkeit, Informationen hinsichtlich Ausweichflughäfen einzuholen, besteht für die Piloten im Kontakt mit dem Airline-Operationszentrum. Diese Kommunikation erfolgt über den direkten Funkkontakt (auch per Satellitentelefon) oder das Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS). ACARS ist ein System zur Übermittlung von Nachrichten beispielsweise an die Flugsicherung oder das Airline Operationszentrum. Im Gegensatz zum Sprechfunk, wird die Kommunikation über das ACARS mithilfe von Textnachrichten vorgenommen. Da der Sprechfunkverkehr in Ballungsräumen häufig stark frequentiert ist, wird das System auch zur Übermittlung von Flugfreigaben der Flugsicherung genutzt [15]. Eine Unterstützungsmöglichkeit bei der Suche nach einem Ausweichflughafen bildet das Airline-Operationszentrum ab. In diesem sitzen die Flugdienstberater (engl. Dispatcher) welche für die bodenseitige Betreuung der Flüge zuständig sind [16]. Ein Aspekt der Flugdienstberatung wird durch die In-Flight-Assistance abgedeckt. Auf der Suche nach Ausweichflughäfen können die Piloten den Flugdienstberater kontaktieren und somit eine operationell sinnvolle Lösung für das vorliegende Problem erfragen. Der Kontakt zum Flugdienstberater wird insbesondere bei zeitunkritischen Fehlern aufgenommen, da dieser die unternehmensseitigen Interessen zur Behebung des Fehlers besser einschätzen kann.

Die in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Hilfsmittel zur Auswahl eines Ausweichflughafens stellen eine Auswahl der verfügbaren Hilfsmittel dar. Abhängig von der Airline und dem Flugzeugmuster können weitere Möglichkeiten vorliegen, die die Cockpitbesatzung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen. Häufig nimmt auch die persönliche Erfahrung der Cockpitbesatzung einen wichtigen Teil bei der Suche eines Ausweichflughafens ein, da die Piloten durch ihre Erfahrung die Eigenschaften vieler Flughäfen kennen.

Am DLR wurde im Rahmen des Projekt NICO der Bedarf festgestellt, die Cockpitbesatzung durch ein System bei der Auswahl eines Ausweichflughafens zu unterstützen. Das System soll die in Kapitel 2.1.3 genannten Unterstützungsmöglichkeiten vereinen und in einer Anwendung zusammenfassen. Die benötigten Inhalte und Funktionen des Prototyps wurden zudem in einer Vorstudie im Projekt NICO [3] erfasst. Das entwickelte Assistenzsystem, welches als Prototyp für die hiesigen Untersuchungen vorliegt, wird im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben.

2.2. Beschreibung des Assistenzsystem-Prototypen

Der zu untersuchende Prototyp des Assistenzsystems wurde in der Softwareumgebung MATLAB R2007b umgesetzt. Die Berechnungen und Darstellungen des Programms werden mithilfe einer Graphical User Interface (GUI) dargestellt. Diese ermöglicht es den Piloten, die für sie relevanten Inhalte, ohne Kenntnis des Programmcodes, graphisch zu erfassen. Die Grundlage für die Darstellungen bildet der hinterlegte Programmcode, welcher die notwendigen Berechnungen ausführt. Die Berechnungen stützen sich auf den in der Luftfahrt etablierten Handbuchmethoden und sind für den vorliegenden Prototyp auf das Flugzeugmuster Airbus A320 bezogen. Folglich sind alle Darstellungen und Berechnungen des Prototyps auf dieses Flugzeugmuster zugeschnitten. Der A320 wurde gewählt, da dieser ein sehr verbreitetes Flugzeugmuster darstellt und zudem in der Forschungsflugzeugflotte des DLR vertreten ist. Dadurch ist ein uneingeschränkter Zugriff auf die Handbücher des A320 möglich.

Geographisch ist der Prototyp im derzeitigen Entwicklungsstand auf den europäischen Kontinent beschränkt. Weiterhin sind dynamische Simulationen mit dem Prototyp derzeit nicht möglich. In der Folge sind die Situationen, die abgebildet werden können, stets statisch.

Die Struktur des Prototyps lässt sich in acht einzelne Felder unterteilen. Die Aufteilung der einzelnen Felder ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

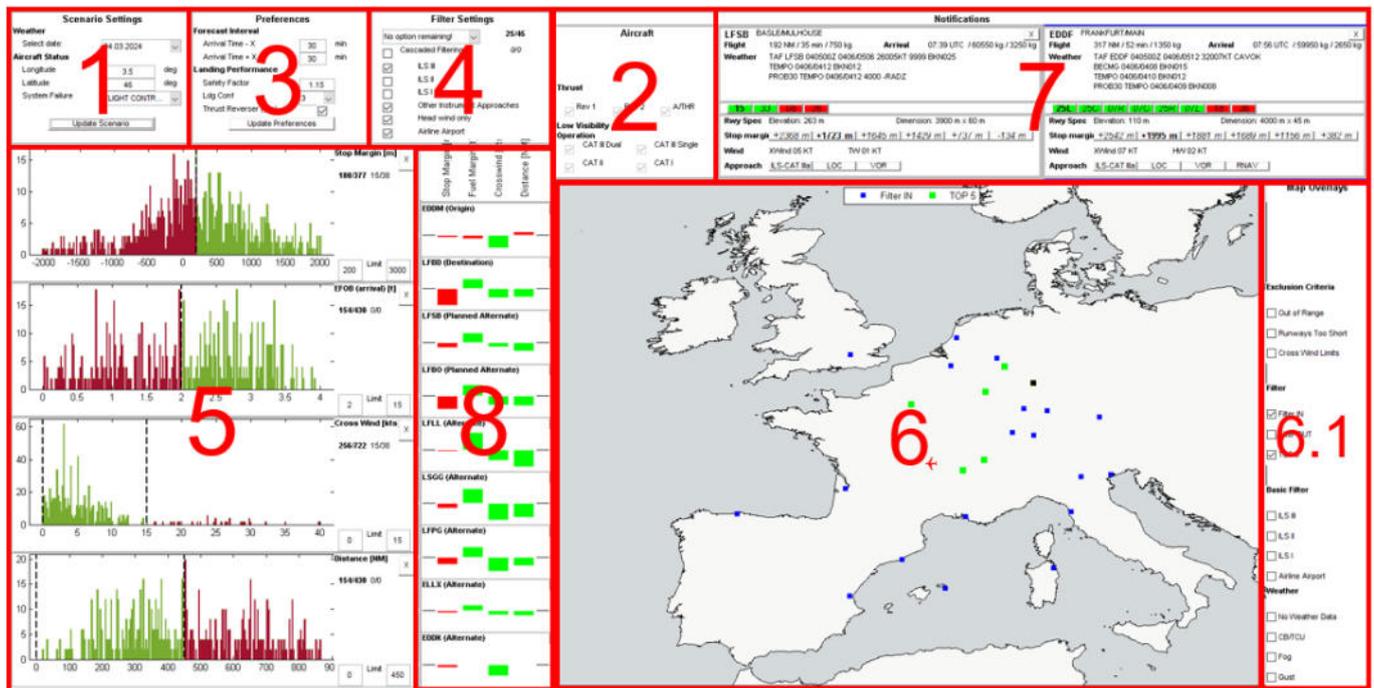


Abbildung 2-5: Gesamtansicht des Assistenzsystem-Prototyps

2.2.1. Feld Scenario Settings

Das Feld 1 (Scenario Settings) ist in der Detailansicht in Abbildung 2-6 zu sehen. In diesem Feld kann der Pilot ein Datum auswählen, an welchem der geplante Flug stattfinden soll. Die Auswahl der Daten ist abhängig von der hinterlegten Datenbank. Da die Wetterdaten lediglich für die Vergangenheit vorliegen, kann mit dem Prototyp ausschließlich ein Flug aus der Vergangenheit abgebildet werden. Weiterhin kann der Pilot die Position des Flugzeugs über die Eingabe von Koordinaten, sowie den zu untersuchenden Systemfehler auswählen. Die hinterlegte Fehlerdatenbank deckt zum aktuellen Entwicklungszeitpunkt technische Fehler des Klappensystems, des Hydrauliksystems sowie der Flugsteuerung ab. Die Berücksichtigung der Einschränkungen, die der Systemfehler hervorruft, ist elementarer Bestandteil des Prototyps. Über den Auswahlkasten Update Scenario wird eine Berechnung des Programms angestoßen, welche die Anzeigen aktualisiert und an die eingegebenen Parameter anpasst. Zu diesem Feld muss erwähnt werden, dass die Eingabe des Datums und der daraus resultierenden Wetterlage, des vorliegenden Systemfehlers und der Flugzeugposition zukünftig nicht durch die Piloten stattfinden soll. Ziel der zukünftigen Entwicklung ist es, diese Daten durch eine Kopplung mit dem Flugzeug automatisch bereitzustellen.

Scenario Settings

Weather
 Select date: 04.03.2024

Aircraft Status
 Longitude: 3.5 deg
 Latitude: 46 deg
 System Failure: FLIGHT CONTR...

Update Scenario

Abbildung 2-6: Detailansicht Feld 1

2.2.2. Feld Aircraft

Das Feld 2 (Aircraft) ist in Abbildung 2-7 dargestellt. Dieses Feld zeigt die Funktionalität ausgewählter Flugzeugsysteme mithilfe von Haken an. In Abhängigkeit vom im Feld 1 gewählten Systemfehler, wird die Funktionalität der einzelnen Untersysteme angezeigt. Der Prototyp bildet die Schubumkehrer 1 und 2 (Rev 1 & Rev 2), sowie die automatische Schubsteuerung (A/THR) ab. Weiterhin wird die Verfügbarkeit unterschiedlicher Anflugverfahren (ILS CAT III Dual, ILS CAT II Single, ILS CAT II, ILS CAT I) in Abhängigkeit des Systemfehlers angezeigt. Der Grundgedanke dieses Feldes ist es, die Konsequenzen des Systemfehlers für die entsprechenden Flugzeugsysteme, welche normalerweise im Electronic Centralized Aircraft Monitoring (ECAM) des Airbus A320 angezeigt werden, abzubilden. Das Feld Aircraft ist zudem lediglich ein Ansichtsfenster. Folglich ist durch den Piloten keine Interaktion in diesem Feld möglich. Bei Ausfall des jeweiligen Systems verbleibt ein Kästchen, in welchem kein grauer Haken zu sehen ist.

Aircraft

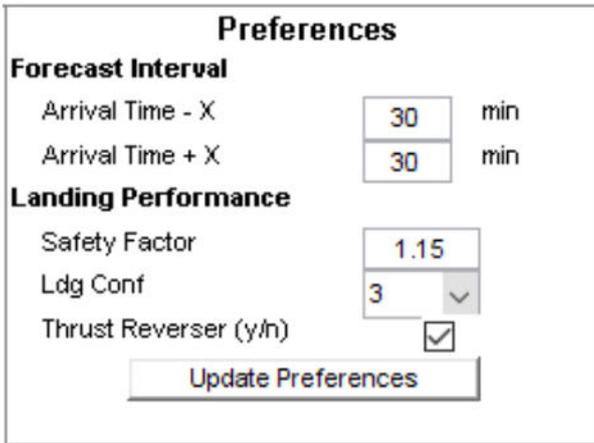
Thrust
 Rev 1 Rev 2 A/THR

Low Visibility Operation
 CAT III Dual CAT III Single
 CAT II CAT I

Abbildung 2-7: Detailansicht Feld 2

2.2.3. Feld Pilot Preferences

Das Feld 3 (Preferences) dient der Eingabe persönlicher Präferenzen der Piloten. In diesem können die Piloten den Zeitraum eingeben, in dem das Wettergeschehen zum Ankunftszeitpunkt berücksichtigt werden soll. Die zu betrachtenden Zeiträume beziehen sich auf die in der Datenbank hinterlegten Wettervorhersagen, welche als TAF-Daten (Terminal Aerodrome Forecast) implementiert sind. Im Abschnitt Landing Performance können die Piloten den sogenannten Safety Factor anpassen. Bei diesem handelt es sich um einen Sicherheitsfaktor, der auf die benötigte Landedistanz aufgeschlagen wird. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die für die Landung zu verwendende Klappenstellung über ein Dropdown Menü anzupassen. Durch einen Mausklick auf den Auswahlkasten Thrust Reverser kann zudem festgelegt werden, ob die Schubumkehr in der Berechnung der Landedistanz berücksichtigt werden soll. Bei Systemfehlern, die die Funktionsweise beider Schubumkehrer einschränken, ist eine Interaktion mit diesem Auswahlkasten nicht möglich. Über den Auswahlkasten Update Preferences wird eine Berechnung angestoßen, die die eingegebenen Präferenzen berücksichtigt und den Prototyp aktualisiert. Das beschriebene Feld Preferences ist in Abbildung 2-8 dargestellt.



| Preferences | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Forecast Interval | |
| Arrival Time - X | 30 min |
| Arrival Time + X | 30 min |
| Landing Performance | |
| Safety Factor | 1.15 |
| Ldg Conf | 3 |
| Thrust Reverser (y/n) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Update Preferences | |

Abbildung 2-8: Detailansicht Feld 3

2.2.4. Feld Filter Settings

Das Feld 4 (Filter Settings) dient der Eingabe von vordefinierten Filterkriterien. Dargestellt ist das Feld Filter Settings in Abbildung 2-9. Zugrunde liegt dem Feld das Prinzip der Filterung spezieller Kriterien, die bei der Auswahl von Ausweichflughäfen von Relevanz sind. Die im Prototyp implementierten Filterkriterien sind das Ergebnis der bereits angesprochenen Vorstudie [3]. Die sieben dargestellten Auswahlkästen bieten die Möglichkeit, nach unterschiedlichen Anflugverfahren, Windverhältnissen und operationellen Aspekten zu filtern. Die Filter werden durch einen Mausklick auf den Auswahlkasten aktiviert und deaktiviert. Eine Ausnahme stellt die kaskadierte Filterung (cascaded Filtering) dar. Bei diesem Auswahlkasten wird eine Art der Filterung aktiviert und deaktiviert, die sich auf die Darstellungen im Feld 5 auswirkt. Auf diese wird bei der Erläuterung des entsprechenden Feldes näher eingegangen. Weiterhin können der Abbildung 2-9 vier Zahlen entnommen werden. Die fett gedruckten Zahlen zeigen die verbleibenden Landebahnen und Flughäfen unter Berücksichtigung der gewählten Filter an. Die zugrundeliegende Syntax zeigt im Beispiel aus Abbildung 2-9, 29 Flughäfen mit 51 Bahnen an, die die Filterkriterien

erfüllen. Die nicht fett gedruckten Zahlen sind ein Indikator für Flughäfen, an denen keine Wetterdaten vorliegen. Sollten in der Datenbank Flughäfen existieren, für die keine Wetterdaten vorliegen, steht an dieser Stelle, unter Anwendung der gleichen Syntax, die Anzahl der Flughäfen und Bahnen, für welche keine Daten vorliegen. Über das in Abbildung 2-10 zu sehende Dropdown Menü kann der Pilot weitere Filter aktivieren. In Abbildung 2-10 sind die Filterkriterien, die über das Dropdown Menü auswählbar sind, dargestellt. Diese Filter haben den Charakter, dass sie im Gegensatz zu den bereits erläuterten ja/nein Filtern, eine numerische Filterung ermöglichen. Die Darstellung und Interaktionsmöglichkeiten dieser Filterkriterien wird in Feld 5 erläutert.

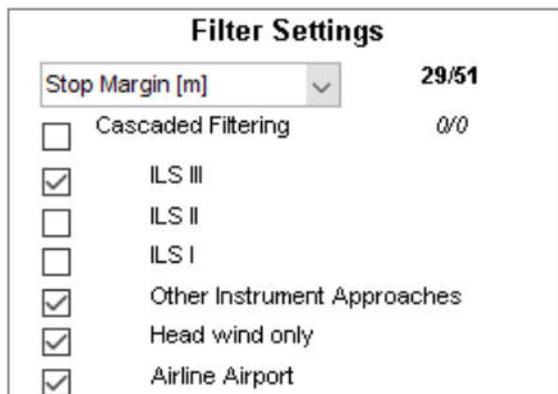


Abbildung 2-9: Detailansicht Feld 4

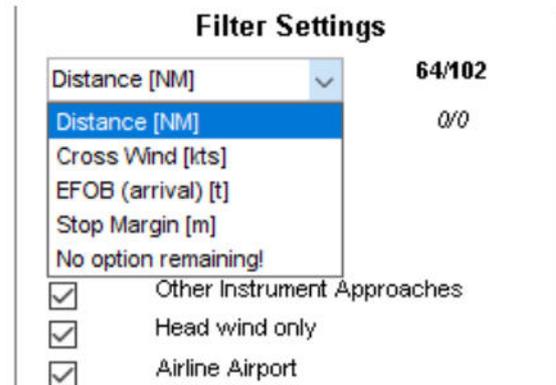


Abbildung 2-10: Auswahlmöglichkeiten per Dropdown Menü

2.2.5. Feld numerische Filterung

Feld 5 ist dem Feld Filter Settings zuzuordnen und stellt eine Erweiterung dieses Feldes dar. In Feld 5 werden die im Dropdown Menü aus Feld 4 ausgewählten numerischen Filterkriterien angezeigt. Der Abbildung 2-11 kann eine Ansicht dieser Filterkriterien entnommen werden. Die im Feld 4 ausgewählten Filter werden in Form von Histogrammen in Feld 5 dargestellt. Die Histogrammdarstellung verfolgt das Ziel, die Häufigkeitsverteilung der verfügbaren Bahnen visuell zu unterstützen. Die vier für die aktuelle Version des Prototyps implementierten numerischen Filterkriterien lauten Stop Margin, EFOB on arrival, Cross Wind und Distance. Die Stop Margin gibt die Differenz aus zur Verfügung stehender Landebahnlänge zur tatsächlich benötigten Landedistanz an. Das Filterkriterium EFOB steht für estimated fuel on board und gibt die Resttreibstoffmenge bei der Landung an. Der Cross Wind gibt den vorliegenden Seitenwind an den jeweiligen Flughäfen wieder. Das Filterkriterium Distance beschreibt die Distanz zum jeweiligen Flughafen in Abhängigkeit der aktuellen Flugzeugposition, die in Feld 1 spezifiziert wurde. Für jedes der vier Filterkriterien (Stop Margin, EFOB, Cross Wind, Distance) kann eine Histogrammdarstellung generiert werden. Die Histogramme zeigen auf der Abszisse die jeweiligen zugehörigen Zahlenwerte in der für das Filterkriterium zugehörigen Einheit an, während die Ordinate die Anzahl an Bahnen angibt. In der unteren rechten Ecke jedes Filterkriteriums hat der Pilot die Möglichkeit, Zahlenwerteingaben zu tätigen. Hierfür wird ein unteres und ein oberes Limit hinsichtlich der Werte auf der Abszisse gesetzt. Diese Filterung nach individuellen Zahlenwerten zielt darauf ab, die persönlichen Präferenzen eines jeden Piloten zu berücksichtigen. Zur visuellen Unterstützung der gewählten Limits werden diese farblich innerhalb der

Histogrammdarstellung abgegrenzt. In der oberen rechten Ecke ist das ausgewählte Filterkriterium ersichtlich. Weiterhin hat der Pilot die Möglichkeit, durch einen Mausklick auf das „X“, das Filterkriterium nicht mehr zu berücksichtigen. Das abgewählte Filterkriterium erscheint in der Folge wieder im Dropdown Menü in Feld 4, in welchem es auch wieder angewählt werden kann. Die Syntax der in der oberen rechten Ecke zu sehenden Zahlen ist äquivalent zu der in Feld 4 beschriebenen Syntax. Die fett gedruckte Zahl zeigt an, wie viele Flughäfen mit wie vielen Bahnen unter den angewandten Limits verbleiben. Die nicht fettgedruckte Zahl gibt an, für wie viele Flughäfen und Bahnen aufgrund fehlender Wetterdaten keine Berechnung möglich ist. Erwähnenswert ist, dass sich die dargestellten Zahlen stets auf das jeweilige Filterkriterium beziehen. Folglich erfüllen für das in Abbildung 2-11 dargestellte Kriterium Stop Margin 102 Flughäfen mit 223 Bahnen die numerisch eingegebenen Anforderungen. Dieser Zahlenwert bezieht sich auf die gesamte Datenbasis aller vorhandenen Flughäfen ohne Berücksichtigung der Filterkriterien aus Feld 4.

Die in Feld 4 auswählbare Option cascaded Filtering steht im Zusammenhang mit der Darstellung in Feld 5. Durch die kaskadierte Filterung hat der Pilot die Möglichkeit, die Darstellung der Histogramme zu verändern. Sobald der Pilot die kaskadierte Filterung anwählt, werden die Kriterien in den Histogrammen miteinander verkettet. Das bedeutet, dass für die Anzeige des nachfolgenden Histogramms, ausschließlich die Flughäfen und Bahnen betrachtet werden, die das numerische Filterkriterium erfüllen. Der Prototyp geht bei der kaskadierten Filterung von oben nach unten vor. Folglich werden für die Histogrammdarstellung der Distance lediglich die 102 Flughäfen mit 223 Bahnen betrachtet, welche das Kriterium Stop Margin erfüllen. Nach diesem Schema verkettet die kaskadierte Filterung die einzelnen numerischen Filterkriterien. In der Regelungstechnik könnte man diese Art der Filterung durch eine UND Verknüpfung beschreiben. In der Folge sinken bei der kaskadierten Filterung ebenfalls die Anzahl an Flughäfen und Bahnen, die das jeweilige Kriterium erfüllen, da nicht wie bei der normalen Filterung die gesamte Datenbasis berücksichtigt wird, sondern lediglich jene Flughäfen, die das vorhergehende Filterkriterium erfüllen. Die Verwendung der kaskadierten Filterung ist beispielhaft in Abbildung 2-12 dargestellt. Ziel der kaskadierten Filterung ist es, dem Piloten gezielt aufzuzeigen, an welchen Zahlenwerten dieser Änderungen vornehmen müsste, um eine höhere Anzahl an Flughäfen zu erreichen, die alle Filterkriterien erfüllen.

Abschließend zum Feld der Filterung gilt es zu erwähnen, dass die in Feld 4 dargestellte Zahl zur Veranschaulichung der Anzahl an verbleibenden Flughäfen und Bahnen die Eingaben aus Feld 4 und 5 impliziert. In der Folge zeigt diese Zahl die verbleibenden Flughäfen und Bahnen unter Anwendung aller Filterkriterien an.

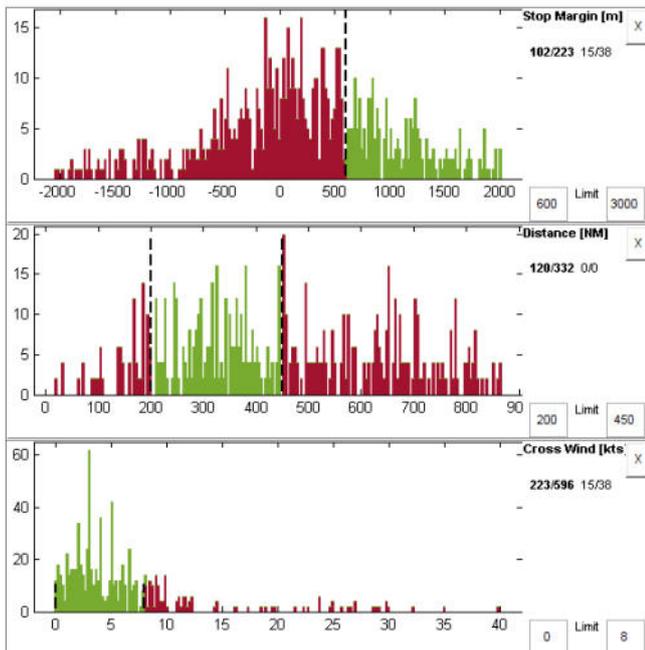


Abbildung 2-11: Detailansicht Feld 5

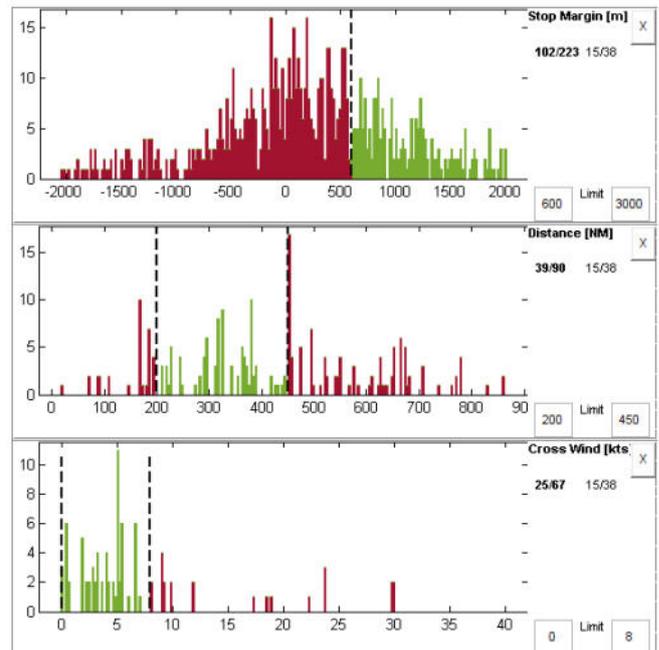


Abbildung 2-12: Histogrammdarstellung unter Anwendung der kaskadierten Filterung

2.2.6. Feld Map and Overlays

Die Felder 6 und 6.1 (Map and Overlays) sind in Abbildung 2-13 dargestellt. Die Karte zeigt einen definierten Ausschnitt von Europa. Der Kartenausschnitt, welcher mithilfe von Längen- und Breitengraden definiert wird, kann im Programmcode angepasst werden. Die Darstellungen auf der Karte können mithilfe der verschiedenen Map Overlays angepasst werden. Standardmäßig zeigt die Karte durch die angewählten Overlays Filter In und Top 5 die Flughäfen an, welche die in Feld 4 und 5 gesetzten Filterkriterien erfüllen. Weiterhin zeigt die Karte ein rotes Flugzeugsymbol an, das die in Feld 1 festgelegte Position des Flugzeugs widerspiegelt. Auf die Bedeutung des Overlays Top 5 wird im weiteren Verlauf dieses Abschnitts eingegangen. Die Map Overlays aus Feld 6.1 unterteilen sich in mehrere Unterkategorien. Im Gegensatz zu den Feldern 4 und 5 haben die Overlays keinen Einfluss auf die Datenbasis und dienen lediglich der visuellen Unterstützung. Durch die Auswahl der Overlays der Kategorie Exclusion Criteria werden Flughäfen angezeigt, die außer Reichweite sind, deren Landebahnen eine negative Stoppmarke aufweisen, als auch Flughäfen, die einen zu hohen Seitenwind für eine Landung aufweisen. Die weitere Overlaykategorie ist der Filterung zuzuordnen. Durch Anklicken der Auswahlkästen werden entweder alle ausgefilterten Flughäfen, alle Flughäfen, die der Filterung entsprechen, oder die Top 5 Flughäfen angezeigt. Eine Überlagerung der einzelnen Overlays ist ebenfalls möglich. Die Overlays der Kategorie Basic Filter zeigen Flughäfen an, die verschiedene Anflugverfahren aufweisen (ILS I, ILS II, ILS III), als auch Airports, die von der im Programmcode hinterlegten Airline angefliegen werden. An diesem Overlay lässt sich der Unterschied zwischen der Filterung und den Overlays hervorheben. Hat der Pilot in Feld 4 und 5 den Filter Airline Airport und eine Distanz von 300 nautischen Meilen als Filterkriterien ausgewählt, so werden diese durch das Overlay Filter In abgebildet. Wählt der Pilot zusätzlich das Overlay Airline Airport, so zeigt die Karte einerseits alle Airline Flughäfen im Umkreis von 300

nautischen Meilen an, als auch alle Airline Flughäfen, die außerhalb der 300 nautischen Meilen Entfernung liegen. Abbildung 2-14 unterstützt diesen Sachverhalt graphisch. Durch die Overlays der Kategorie Weather hat der Pilot die Möglichkeit, Flughäfen anzuzeigen, die zum Ankunftszeitpunkt unterschiedliche Wetterphänomene aufweisen. Bei diesen vorausgewählten Wetterphänomenen handelt es sich um Gewitterwolken (CB/TCU), Nebel (Fog) und auftretende Windböen (Gusts).

Jedes Overlay wird auf der Karte durch unterschiedliche Symbole gekennzeichnet. Sobald ein Overlay angewählt wird, wird die mittig oben zu sehende Legende angepasst, sodass der Pilot zu jedem Zeitpunkt überblicken kann, welche Overlays angezeigt werden. Die Overlays lassen sich durch Mausklicks auf die entsprechenden Auswahlkästen aktivieren und deaktivieren.

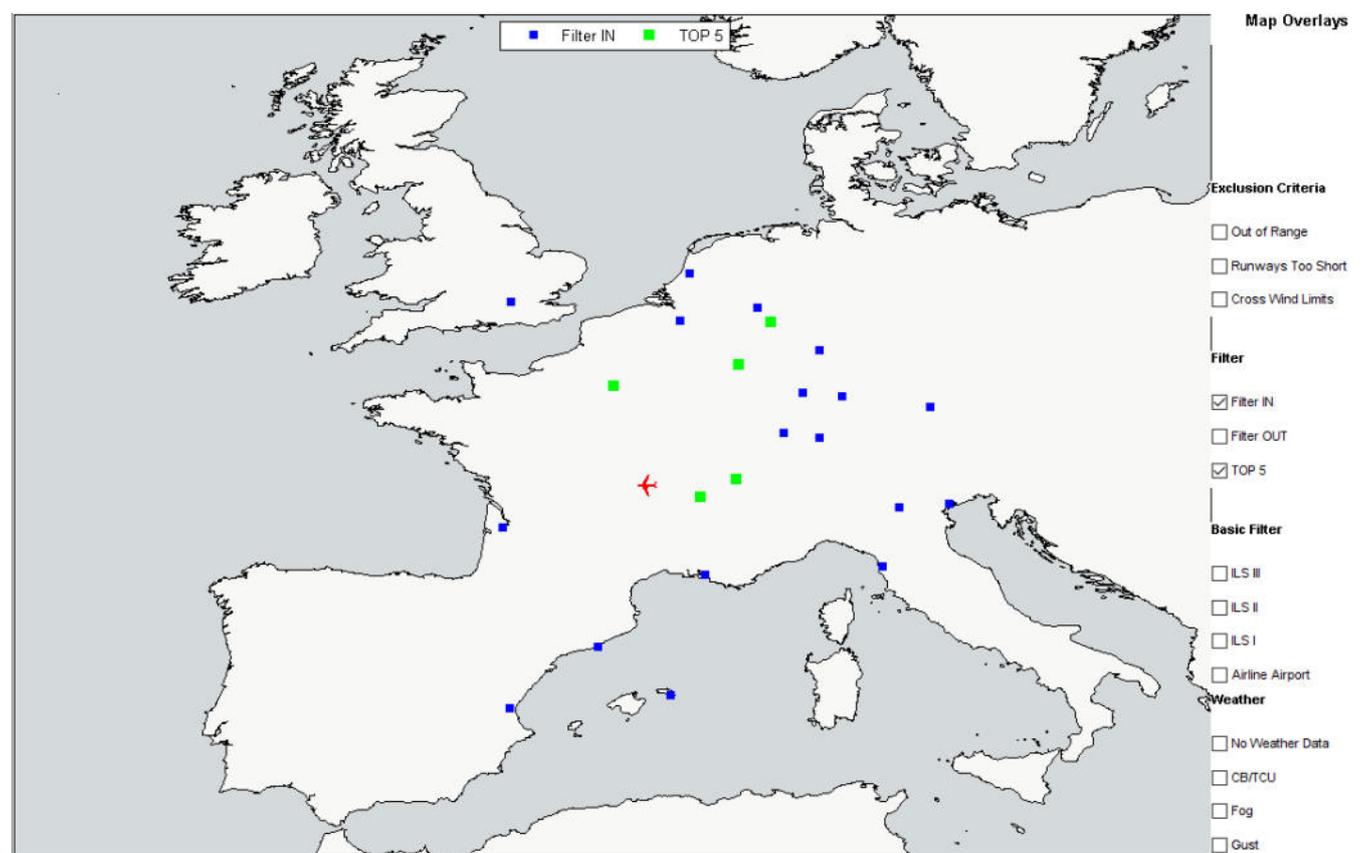


Abbildung 2-13: Detailansicht Feld 6 und 6.1

Die Interaktionsmöglichkeiten, die die Karte abbildet, sind Mausklicks auf die jeweils dargestellten Flughäfen und das Flugzeugsymbol. Im Allgemeinen kann jeder Flughafen, der auf der Karte angezeigt wird, unabhängig vom ausgewählten Overlay, angeklickt werden. Durch einen Mausklick auf den jeweiligen Flughafen, werden Detailinformationen zu diesem aufgerufen, auf welche in Feld 7 eingegangen wird. Ein Mausklick auf das Flugzeugsymbol gibt Informationen zur aktuellen Flugzeugposition in Längen- und Breitengrad, dem verbleibenden Treibstoff, sowie der daraus resultierenden verbleibenden Flugzeit an.

Das Overlay Top 5 zeigt auf Basis der Faktoren Stoppmarge, Resttreibstoff bei Ankunft am Flughafen, vorliegendem Seitenwind am Flughafen, Distanz bis zum Flughafen (abhängig von aktueller Position) und der Wettervorhersage am Flughafen im Hinblick auf Gewitterwolken, die fünf bestgeeigneten Flughäfen an. Der Prototyp berechnet hierfür, für jeden in der Datenbank hinterlegten Flughafen, einen Rang. Die Rangfolge wird auf Basis der Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) gebildet. Bei TOPSIS handelt es sich um eine Entscheidungsmethodik unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien. Diese Methodik nähert sich der idealen Lösung über den Abstand zur schlechtesten und besten idealen Lösung. Die exakte Vorgehensweise kann der Quelle [17] entnommen werden. Für den Verlauf dieser Arbeit ist es wichtig zu erwähnen, dass jeder der fünf Faktoren (Stop Margin, Fuel Margin on arrival, Distance, Crosswind, CB/TCU forecast) zu gleichen Anteilen, also zu 1/5 in die Berechnung der Rangfolge eingeht.

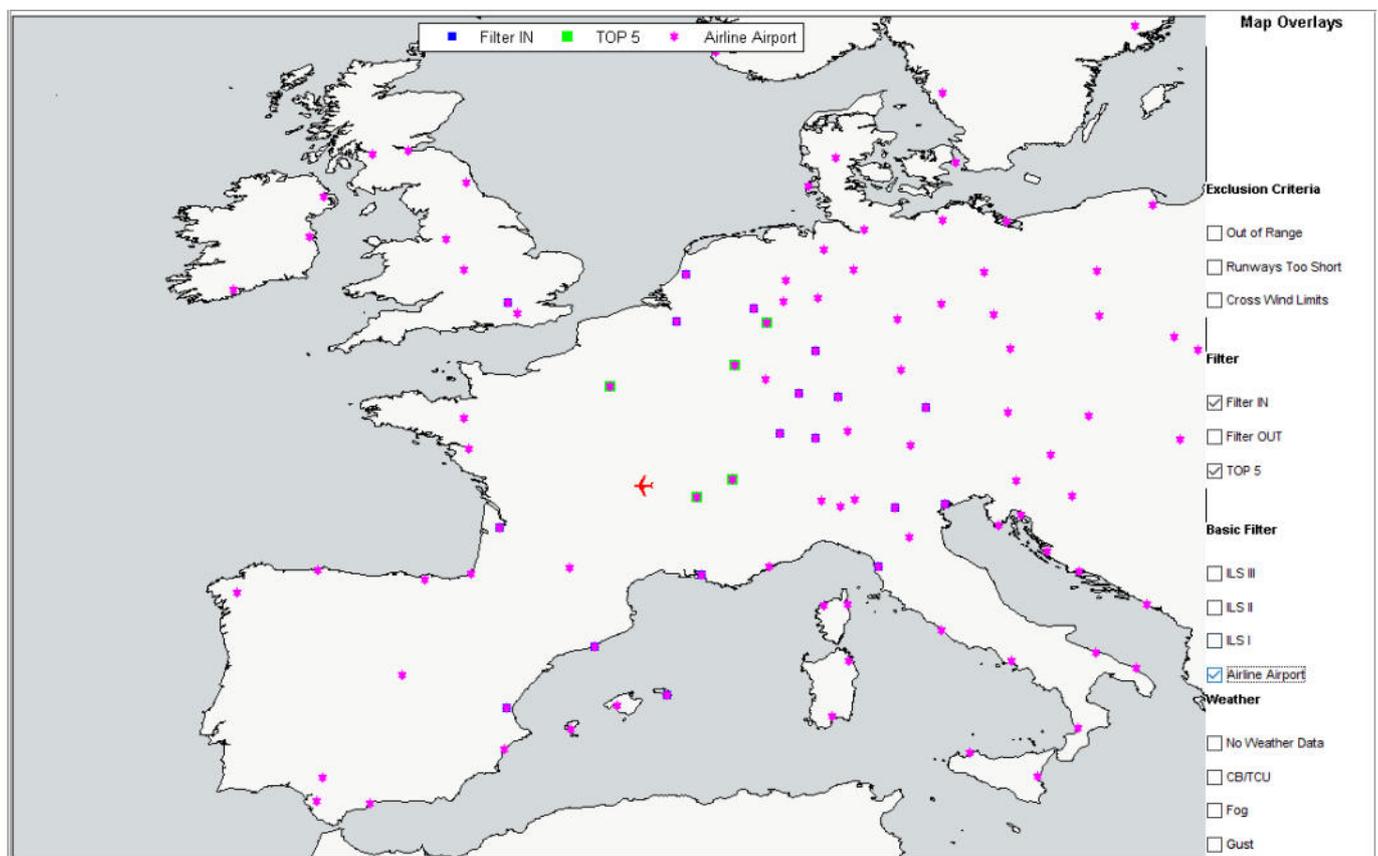


Abbildung 2-14: Anzeige des Overlays Airline Airport

2.2.7. Feld Infoboxen

Das Feld 7 (Notifications) wird in dieser Arbeit als Infoboxen zu den Flughäfen bezeichnet und ist in Abbildung 2-15 dargestellt. Durch den in Feld 6 erläuterten Mausklick auf den Flughafen in der Karte, öffnet sich die jeweilige Infobox zum entsprechenden Flughafen. Es können maximal zwei Infoboxen für zwei Flughäfen gleichzeitig aufgerufen werden. Die blau unterlegte Infobox verfolgt den Ansatz eine Referenz darzustellen, während die

linksseitig abgebildete Infobox zum Vergleich dient. Die Idee dieser Umsetzung ist es, in der rechten Infobox einen Flughafen abzulegen, mit dem der Pilot die Eigenschaften des Flughafens in der linken Infobox vergleichen möchte. In der Folge wird durch einen Mausklick auf einen Flughafen in der Karte stets die linke Infobox aktualisiert, während die rechte Infobox bestehen bleibt. Sobald der Pilot die rechte Infobox ändern möchte, muss diese hierfür explizit über den in der rechten oberen Ecke zu sehenden Auswahlkasten geschlossen werden.

Der Inhalt der Infoboxen setzt sich für jeden Flughafen nach dem gleichen Schema zusammen. In der oberen Zeile stehen der ICAO-Code und der Name des Flughafens. In der zweiten Zeile werden Informationen zum Flug, sowie Informationen zum Ankunftszeitpunkt abgebildet. Diese beinhalten die Entfernung zum Flughafen in Abhängigkeit der aktuellen Position, die für die Strecke benötigte Flugzeit und den für die Flugstrecke benötigten Treibstoff. Unter dem Punkt Arrival wird die Ankunftszeit, die Gesamtmasse des Flugzeugs und die verbleibende Treibstoffmasse zum Ankunftszeitpunkt angegeben. Diese Werte sind in den in der Luftfahrt typischen Einheiten nautische Meilen, Minuten, Uhrzeit in der UTC und Kilogramm angegeben. Die dritte Zeile der Infobox gibt Daten zum vorliegenden Wetter am Flughafen zum Ankunftszeitpunkt in Form des aktuellen TAF an. Das TAF beinhaltet Daten zur vorherrschenden Windstärke und Windrichtung, Sichtweiten, auftretenden Wettererscheinungen und zur Bewölkung [18]. Weiterhin gibt das TAF eventuelle Änderungen des Wetters und deren Auftretenswahrscheinlichkeit in Prozent an. Da die Infobox lediglich die Wettervorhersage für den Ankunftszeitraum (im Feld 3 festgelegt) angibt, hat der Pilot die Möglichkeit, durch Schweben mit der Maus über dem Wort Weather sich das TAF für den gesamten Tag, teilweise inklusive dem Folgetag, anzeigen zu lassen. Hierdurch kann der Pilot einen Eindruck von der Gesamtwetterlage im Tagesverlauf erlangen. In der nachfolgenden Zeile werden alle vorhandenen Bahnen des Flughafens angezeigt. Diese werden durch die Himmelsrichtung in Grad indiziert. Aufgelistet werden die Bahnen nach dem Kriterium Stoppmarge. Linksseitig steht stets die Bahn, welche die höchste Stoppmarge aufweist, während die nachfolgenden Bahnen eine geringere Stoppmarge aufweisen. Der Pilot hat die Möglichkeit, jede vorhandene Bahn anzuklicken und sich Detailinformationen zu dieser anzeigen zu lassen. In der Folge ändern sich die nachfolgenden Zeilen. Die Zeile Rwy Spec zeigt die Höhe des Flughafens über dem Meeresspiegel sowie die Dimensionen der ausgewählten Landebahn in der Form Länge x Breite in Metern an. Die weitere Zeile mit der Bezeichnung Stop Margin zeigt die Stoppmarge auf der jeweiligen Bahn unter Berücksichtigung der Bahnoberfläche (Runway Condition) an. Die Beschaffenheit der Bahnoberfläche wird nach den ICAO-Richtlinien in sechs Kategorien mit Runway Condition Codes (Runway CC) eingeteilt, welche in Tabelle 2-1 aufgeführt sind [19].

Tabelle 2-1: Eigenschaften der einzelnen Runway Condition Codes

| Runway Condition Code | Bahnbeschaffenheit |
|-----------------------|--|
| 6 | Trocken |
| 5 | Nass, leicht verschneit, geringe Mengen an Schneematsch |
| 4 | Verdichteter Schnee < -15°C |
| 3 | Hohe Schneebelastung durch nassen oder trockenen Schnee, verdichteter Schnee > -15°C |
| 2 | Große Mengen an Schneematsch, stehendes Wasser |
| 1 | Kontamination durch Eis |
| 0 | Eis- oder Wasserbildung auf einer Schneedecke |

Für die Runway CC 1 bis 6 berechnet der Prototyp unter Verwendung von Tabellen aus dem Handbuch und unter Berücksichtigung des vorliegenden Systemfehlers (Feld 1) eine Stoppmarge. Linkseitig ist in der Infobox der Runway CC 6 abgebildet, während die geringste Stoppmarge die Runway CC 1 abbildet. Eine Stoppmarge für die Runway CC 0 ist nicht implementiert, da eine Berechnungsgrundlage aus den Handbüchern für diesen Runway CC oftmals nicht gegeben ist. Wie der Abbildung 2-15 zu entnehmen ist, wird die Stoppmarge fett gedruckt. Die fett gedruckte Stoppmarge gibt die Runway CC wieder, die das Programm auf Basis des vorliegenden TAF gewählt hat. Im Allgemeinen wird für die Ableitung der relevanten Parameter aus den Wetterdaten stets das schlechteste anzunehmende Wetter verwendet, selbst wenn dieses lediglich mit einer geringen Wahrscheinlichkeit auftritt. Schlechtes Wetter lässt sich anhand hoher Windgeschwindigkeiten und ungünstigen Wettererscheinungen interpretieren. Der Prototyp leitet in der Folge aus dem vorliegenden TAF eine Runway CC ab. Da die Ableitung der Runway CC aus dem TAF lediglich bedingt möglich ist, wurde in der Programmierung ein konservativer Ansatz gewählt. So ist die Runway CC 5 als Standard Runway CC festgelegt, auch wenn kein Regen aus dem TAF hervorgeht. Um den Piloten in diesem Punkt eine Interaktionsmöglichkeit zu geben, kann die anzunehmende Runway CC angepasst werden. Durch einen Mausklick auf die jeweilige Stoppmarge wird diese fett gedruckt und im Programmcode für den jeweiligen Flughafen anstelle der aus dem TAF abgeleiteten Runway CC gesetzt. In der nachfolgenden Zeile mit der Bezeichnung Wind werden die Windverhältnisse für die jeweilige Bahn angezeigt. Diese werden aus der Windvorhersage im TAF berechnet und dem Piloten in Form von Seitenwindkomponente und Gegen- oder Rückenwindkomponente angezeigt. Die Zeile Approach zeigt die für die ausgewählte Landebahn vorhandenen Instrumentenanflüge an.

Die Informationen zur Runway Specification, der Stop Margin, den Windverhältnissen und den verfügbaren Anflugverfahren, können durch einen Mausklick auf die entsprechende Landebahn für jede vorhandene Bahn des Flughafens angezeigt werden.

| Notifications | |
|---|---|
| LFSB BASLEMULHOUSE Flight 192 NM / 35 min / 750 kg Arrival 07:39 UTC / 60550 kg / 3250 kg Weather TAF LFSB 040500Z 0406/0506 26005KT 9999 BKN025 TEMPO 0406/0412 BKN012 PROB30 TEMPO 0406/0412 4000 -RADZ | EDDF FRANKFURT/MAIN Flight 317 NM / 52 min / 1350 kg Arrival 07:56 UTC / 59950 kg / 2650 kg Weather TAF EDDF 040500Z 0406/0512 32007KT CAVOK BECMG 0406/0408 BKN015 TEMPO 0406/0410 BKN012 PROB30 TEMPO 0406/0409 BKN008 |
| 15 33 08 26 | 25L 25C 07R 07C 25R 07L 18 36 |
| Rwy Spec Elevation: 263 m Dimension: 3900 m x 60 m Stop margin +2368 m +123 m +1645 m +1429 m +137 m -134 m | Rwy Spec Elevation: 110 m Dimension: 4000 m x 45 m Stop margin +2542 m +1995 m +1881 m +1689 m +1156 m +382 m |
| Wind XWind 05 KT TW 01 KT | Wind XWind 07 KT HW 02 KT |
| Approach <input type="checkbox"/> ILS-CAT IIIa <input type="checkbox"/> LOC <input type="checkbox"/> VOR | Approach <input type="checkbox"/> ILS-CAT IIIa <input type="checkbox"/> LOC <input type="checkbox"/> VOR <input type="checkbox"/> RNAV |

Abbildung 2-15: Detailansicht Feld 7

Wie der Abbildung 2-16 weiterhin entnommen werden kann, werden die vorhandenen Bahnen des Flughafens sowie die verfügbaren Anflugverfahren durch den Prototyp mit Farben hinterlegt. Die verwendeten Farben sind grün oder rot. Grüne Landebahnen bedeuten, dass diese Bahnen eine positive Stoppmarge aufweisen und unter Berücksichtigung der Wetterverhältnisse für eine Landung geeignet sind. Rot hinterlegte Bahnen eignen sich aufgrund diverser Kriterien nicht für eine Landung. Der Grund für die rote Einfärbung kann durch Schweben mit der Maus über der Landebahnnummer hinterfragt werden. Gründe für eine rote Hinterlegung können eine negative Stoppmarge, ein zu hoher Seitenwind oder für das Anflugverfahren ungeeignete Wetterverhältnisse sein. Diese

Faktoren, die eine Landung negieren, werden ebenfalls rot hinterlegt. Durch Schweben mit der Maus können ebenfalls Informationen eingeholt werden, weshalb das jeweilige Anflugverfahren nicht möglich ist. Im Fall des VOR/DME Anflugverfahrens, können das beispielsweise zu geringe Sichtweiten aufgrund von Nebelbildung sein. Zudem sind Bahnen, welche vom Flughafen grundsätzlich nicht zur Landung verwendet werden, ebenfalls rot hinterlegt. Beim Schweben über diese Bahnen wird der Hinweis „Runway not used for landing“ angezeigt. Für den Flughafen Frankfurt am Main betrifft das beispielsweise die Bahnen 18 und 36.

Die beschriebenen Funktionen werden durch die linke und die rechte Infobox gleichermaßen abgebildet.

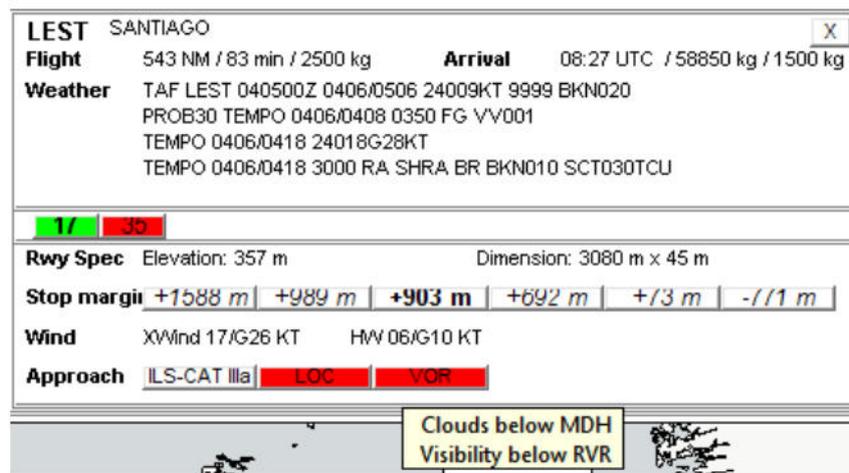


Abbildung 2-16: Erläuterung zur farblichen Hinterlegung durch Interaktion mit der Maus

2.2.8. Feld Vergleichsansicht

Das Feld 8 wird als Vergleichsansicht bezeichnet und ist in Abbildung 2-17 dargestellt. In diesem Feld kann der Pilot einen visuellen Vergleich von Flughäfen mithilfe von Balken vornehmen. Die gelisteten Airports des Feldes sind in Teilen dynamisch. Während die von oben gesehen ersten vier Flughäfen sich nicht verändern, werden ab dem fünften Flughafen von oben die fünf Flughäfen mit dem höchsten Platz der Rangfolge angezeigt. Diese sind folglich abhängig von den in Feld 4 und 5 getätigten Eingaben. Oben steht in der Vergleichsansicht stets der Abflugflughafen, während der zweite Flughafen von oben den Zielflughafen anzeigt. Flughäfen drei und vier von oben zeigen zwei Ausweichflughäfen an, welche im Flugplan hinterlegt sind. Ab dem fünften Feld von oben werden die Top 5 Flughäfen in absteigender Reihenfolge angezeigt. Im unteren Feld steht demnach der Flughafen mit dem fünfthöchsten Platz in der Rangfolge. Die Flughäfen werden zur Identifikation mit ihrem ICAO-Code angegeben. Weiterhin wird die Art des Ausweichflughafens durch die Begriffe Origin, Destination, Planned Alternate und Alternate angegeben. Die Vergleichskriterien, für die die Balken generiert werden, sind Stop Margin, Fuel Margin on arrival, Crosswind und Distance. Diese Kriterien werden mit dem Flughafen in der Referenzinfobox verglichen (im Beispiel Flughafen Frankfurt am Main). Im dargestellten Beispiel weist Frankfurt am Main eine höhere Stoppmarge gegenüber dem Flughafen München (EDDM) auf. Weiterhin eine höhere Fuel Margin on arrival, als der Flughafen München, sowie einen höheren Crosswind als München. Die zurückzulegende Distanz zum Flughafen München ist größer als zum Flughafen Frankfurt am Main. Diese Logik kann auf alle in der Vergleichsansicht

dargestellten Flughäfen angewendet werden. Die Richtung der Balken sowie die farbige Unterlegung, sollen den Piloten bei der Beurteilung der Flughäfen unterstützen. Für die Kriterien Stop Margin und Fuel Margin werden positive Ausschläge grün eingefärbt, während negative Ausschläge rot eingefärbt werden. Höhere Stoppmargen und Treibstoffreserven bei Ankunft werden folglich positiv bewertet, während eine Verringerung ebendieser negativ bewertet wird. Für die Kriterien Crosswind und Distance verhält sich diese Darstellung umgekehrt. So werden negative Ausschläge grün eingefärbt, während positive Ausschläge rot eingefärbt werden. Das ist darin zu begründen, dass eine Erhöhung des Seitenwindes sowie eine höhere Distanz zum Ausweichflughafen negativ zu bewerten sind.

Die Höhe der Balken wird durch die Normierung mit dem jeweils höchsten Wert der Kategorie vorgenommen. Im angezeigten Beispiel ist das für das Kriterium Stop Margin der Wert vom Flughafen LFBD (Flughafen Bordeaux). Da dieser den höchsten Ausschlag aufweist, werden die Balken dieses Kriteriums mit dem Wert vom Flughafen Bordeaux normiert. Für das Kriterium Fuel Margin bildet der Ausschlag des Flughafens Lyon Saint-Exupéry (LFLL) in der Folge den Wert für die Normierung der restlichen Balken des Kriteriums Fuel Margin ab.

Um die in der Vergleichsansicht dargestellten Flughäfen mit einem anderen Referenzflughafen zu vergleichen, muss der Flughafen in der rechten Infobox geschlossen werden. In der Folge kann ein anderer Flughafen als Referenz für die Vergleichsansicht aus der Karte ausgewählt werden. Durch eine Interaktion mit der Infobox, wie sie in Feld 7 beschrieben ist, kann der Pilot den Vergleich auf unterschiedliche Bahnen des Referenzflughafens beziehen. So kann für jede Bahn des Referenzflughafens ein Vergleich mit den Flughäfen aus der Infobox vorgenommen werden. Die Balken der Vergleichsansicht aktualisieren sich durch einen Mausklick auf die jeweilige Bahn des Flughafens in der rechten Infobox. Weiterhin wird die Interaktion mit der Runway Condition ebenfalls durch die Vergleichsansicht abgedeckt. So aktualisieren sich die Balken für das Kriterium Stop Margin bei der Auswahl unterschiedlicher Runway CCs in der Infobox.



Abbildung 2-17: Detailansicht Feld 8

Wie der Erläuterung des vorgestellten Prototyps entnommen werden kann, bietet dieses eine hohe Anzahl an Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten, die im Verlauf dieser Arbeit evaluiert werden. Hierfür wird in Kapitel 3 die Methodik zur Evaluierung des Prototyps vorgestellt.

2.3. Studien zur Auswahl von Ausweichflughäfen und zur Evaluierung von Benutzeroberflächen

Die Literatur zu Ausweichflughafenassistenzsystemen ist vielseitig und wird häufig vor dem Hintergrund der Single Pilot Operation betrachtet. In diesem Forschungsgebiet wird die Reduktion der Cockpitbesatzung von zwei auf einen Piloten untersucht. So wurde in [20] ein Ausweichflughafenassistenzsystem durch eine Studie mit 35 Airline Piloten untersucht. In dieser haben die Teilnehmer die Rolle eines Mitarbeiters im Operationszentrum eingenommen, um dem fiktiven Piloten in der Ein-Personen-Konfiguration einen Ausweichflughafen vorzuschlagen. Um den Arbeitsplatz des Mitarbeiters im Operationszentrum abzubilden, wurde die Studie in Präsenz durchgeführt. Hierbei saßen die Teilnehmer an einem Arbeitsplatz, der die Cockpitanzeigen, das Assistenzsystem sowie ein

Kommunikationstool zur Rücksprache mit dem Piloten umfasste. Weiterhin wird in der Studie die Rolle des Bodenmitarbeiters diskutiert. Dieser übernimmt im Fall der Single Pilot Operation die Funktion des Copiloten für mehrere Flugzeuge in Ein-Personen-Konfiguration. Tritt in einem Flugzeug ein Problem auf, dass die Unterstützung durch einen zweiten Piloten erfordert, so soll dieser Bodenmitarbeiter, welcher ebenfalls eine fliegerische Ausbildung aufweist, den Piloten im Flugzeug unterstützen. Zudem wertet die Studie über Fragebögen das Vertrauen der Piloten in das entwickelte Assistenzsystem aus. Insbesondere eine fehlende Transparenz wird dem Assistenzsystem von den Studienteilnehmern vorgeworfen. Diese bezieht sich auf fehlende Erklärungen, weshalb Flughäfen vom System vorgeschlagen werden sowie die Bewertungskriterien für die vom System ermittelte Rangfolge der Ausweichflughäfen. In der Zusammenfassung wird zudem auf Kriterien eingegangen, die die nächste Entwicklungsstufe des Assistenzsystem beinhalten muss. Diese umfassen die Einbindung von Flugzeugdaten, die Ursache für die Suche nach einem Ausweichflughafen, sowie die Einbindung von Distanzen, Flughafendaten und Höhenbeschränkungen. Weiterhin soll eine Gewichtung für diverse relevante Kriterien vorgenommen werden. Diese sind laut dem Artikel unter anderem die medizinische Versorgung, die Distanz zum Ausweichflughafen und der benötigte Treibstoff.

Das Paper [21] diskutiert die Durchführungsart einer Pilotenstudie. In dieser wurde die Entscheidungsfindung der Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens analysiert. Das Paper reflektiert die möglichen Durchführungsformen der Studie. Hierbei wird unter anderem eine Studie im Simulator vor Ort mit einem Onlineplanspiel verglichen. Demnach erhöht ein Simulatorversuch die Realitätsnähe der Studie und trägt somit zu einer Erhöhung der Ergebnisqualität bei. Nachteilig wirkt sich bei diesem jedoch der hohe Personalkostenaufwand aus. Weiterhin ist die Durchführung vor Ort mit einem hohen Aufwand für die Studienteilnehmer verbunden, was die Teilnehmeranzahl reduzieren könnte. Ein Vorteil, der sich für eine Onlinedurchführung ergibt, ist die hohe Flexibilität der Teilnehmer. Diese können frei über ihren Teilnahmeort und ihre Teilnahmezeit entscheiden. Dadurch entstehen keine Aufwendungen zur Anreise zum Studiendurchführungsort. Im Allgemeinen geht mit der Durchführung als Onlineplanspiel nach [21] eine höhere Flexibilität der Teilnehmer einher. Hinsichtlich der Kommunikation ergeben sich jedoch Einschränkungen bei der Durchführung als Onlineplanspiel. Diese ist bei einem Onlineplanspiel eingeschränkter als bei der Durchführung vor Ort in einem gemeinsamen Raum. Zudem werden nach [21] Online-Meetings allgemein als anstrengender empfunden als Vor-Ort-Meetings.

Die Studie fand folglich als Onlineplanspiel mit elf Teilnehmern statt. Um die Auswahl eines Ausweichflughafens der Piloten zu analysieren, wurden von den Teilnehmern zwei Szenarien bearbeitet. Diese deckten zwei Flüge über Europa ab, in denen unterschiedliche Fehler während des Fluges auftraten. Die Szenarien wurden während des Onlineplanspiels bearbeitet und das Vorgehen der Piloten nach der Technik der Concurrent Verbal Protocol Analysis [22] kommentiert. Die Studie wurde zudem durch einen Vorabfragebogen und einen Abschlussfragebogen ergänzt. Diese wurden im Vorhinein, sowie im Anschluss an die Onlinestudie eigenständig durch die Studienteilnehmer ausgefüllt. Die Fragebögen wurden hierfür in digitaler Form erfasst und durch die Teilnehmer bearbeitet. Ein Kernaspekt, der festgestellt wurde, ist, dass in der Studie keine ausreichende Eingewöhnung der Teilnehmer stattgefunden hat. Zukünftige Studien, die ähnlich aufgebaut sind, sollten demnach ein Einführungszenario aufweisen, um die Teilnehmer besser auf die Szenarien vorzubereiten.

In [23] wurde eine Studie mit zwölf Teilnehmern durchgeführt, die die Nutzung eines Ausweichflughafenassistenzsystems unter der Variation von Transparenz und Risikolevel des Systems analysiert. Das

untersuchte System und die Art der Studie weisen große Ähnlichkeiten zum in [20] untersuchten System auf. So wird auch in dieser Studie ein System untersucht, das einen Ausweichflughafen vorschlägt, sobald eine Landung am Zielflughafen nicht mehr möglich ist. Die Teilnehmer nehmen auch in dieser Studie die Position des ground operators ein, welcher Empfehlungen an die Cockpitbesatzung auf Basis des Assistenzsystems abgibt. Um die Einflüsse von Transparenz und Risikolevel des Systems zu untersuchen, wurde eine Variation dieser Kriterien angewandt. Die Transparenz wurde in den sechs bearbeiteten Szenarien in drei Stufen eingeteilt (niedrig, moderat, hoch), während das Risiko in hoch und niedrig eingeteilt wurde. Die Studie, welche als Vor-Ort-Studie durchgeführt wurde, enthielt ebenfalls einen Fragebogen, sowie ein Abschlussgespräch, um qualitative Daten zu erhalten. Die Studie gelangt zum Ergebnis, dass das Vertrauen der Piloten in das Assistenzsystem mit steigender Transparenz ebenfalls steigt. Weiterhin führen Szenarien mit höherem Risikolevel zu einer Reduktion des Vertrauens in die Vorschläge des Assistenzsystems.

Die Methodik des Tests an einem Prototyp wurde auch in [24] beschrieben. Nach diesem Artikel ist der Test an einem Prototyp die einzig sinnvolle Methodik zur Evaluierung einer GUI. Das gilt demnach für industrielle und akademische Anwendungen. Das Ziel des Tests am Prototyp ist ein realitätsnaher Versuch, der es ermöglicht die Kommentare der Teilnehmer aufzunehmen und in die untersuchte GUI zu implementieren. Auf diese Art und Weise kann nach [24] eine stetige Verbesserung der Benutzeroberfläche erreicht werden. Weiterhin können durch den Test am Prototyp Aussagen über die Akzeptanz und Benutzerfreundlichkeit erfasst werden. Der Test am Prototyp trägt zudem dazu bei, vorhandene Fehler im System aufzudecken. Dieser kann nach [25] in zwei Kategorien unterteilt werden. Eine Kategorie wird durch den funktionalen Test dargestellt. Dieser wird in der Literatur auch als „Black Box testing“ bezeichnet. Bei diesem nutzen die Teilnehmer die Benutzeroberfläche, ohne über die Funktionsweise der Software im Bilde zu sein. Die zweite Kategorie wird durch den strukturellen Test dargestellt. Dieser wird auch als „White Box testing“ bezeichnet. In diesem Fall kennen die Teilnehmer die interne Struktur des Programms, wessen Oberfläche sie testen. Für den hiesigen Anwendungsfall ist der strukturelle Test des Prototyps nicht umsetzbar, da die Teilnehmer keine Kenntnisse der Softwareumgebung MATLAB aufweisen.

Weitere Punkte zur Evaluierung einer Benutzeroberfläche wurden in [26] aufgeführt. Diese sind unter anderem der Bedarf an spezifischen Szenarien, die mit der Benutzeroberfläche bearbeitet werden sollen. Diese müssen über den Verlauf der Studie konstant gehalten werden, um die Reproduzierbarkeit der Studie zu gewährleisten, ohne dem Teilnehmer die Möglichkeit zu nehmen, die Benutzeroberfläche über verschiedene Herangehensweisen zu durchdringen. Hierfür muss dem Teilnehmer zu jeder Zeit klar sein, wie die Oberfläche zu bedienen ist. Dieser Punkt unterstützt den in [21] angeführten Ansatz des Einführungszenarios.

Aus der Literaturrecherche geht der Test an einem Prototyp, wie er in [20, 23–26] angewandt wird, als probates Mittel zur Evaluierung eines Assistenzsystems durch eine Studie hervor. Im folgenden Abschnitt wird diese Methodik für den speziellen Anwendungsfall konkretisiert.

3. Methodik

In diesem Kapitel wird die durchgeführte Studie erläutert. Hierfür wird die Methodik zur Untersuchung der im Ziel der Arbeit aufgeführten Forschungsfrage sowie der aufgestellten Thesen erläutert. Weiterhin wird auf richtungsweisende Entscheidungen im Hinblick auf die Durchführung der Studie eingegangen.

3.1. Spezifizierung des Studieninhalts

Der Prototyp weist aufgrund der Vielzahl an Funktionen, die in dieses implementiert sind, diverse Untersuchungsmöglichkeiten auf. Diese sind beispielsweise eine Betrachtung des Designs der Funktionen, eine Analyse der verwendeten Farbdarstellungen, eine Diskussion des Human Machine Interface Design oder Untersuchungen zu den implementierten Interaktionsmöglichkeiten. Aufgrund der hohen Anzahl an möglichen Untersuchungskriterien, beschränkt sich diese Arbeit auf die Evaluierung der Funktionen des Prototyps. Hierfür werden mithilfe der Studie die implementierten Funktionen untersucht. Die zugrundeliegende Forschungsfrage ist demnach, inwiefern die Funktionen des Prototyps sinnvoll erweitert werden können, um die Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens zu unterstützen.

Da Der Prototyp die acht in Kapitel 2.2 erläuterten Funktionen aufweist, kann die Studie keine detaillierte Analyse zu jeder Funktion des Prototyps abbilden, da diese den Umfang dieser Arbeit überschreiten würde. Vor diesem Hintergrund wurden im Vorfeld der Studie Funktionen des Prototyps identifiziert, die für die Studie von besonderem Interesse sind. Bei diesen Funktionen, die für die Studie von besonderem Interesse sind, handelt es sich um die Felder 5 und 8. Das Feld 5 repräsentiert die numerische Filterung, während das Feld 8 die Vergleichsansicht beinhaltet. Feld 5 ist von besonderem Interesse, da die numerische Filterung durch die Histogramme ergänzt wird. Die Darstellungsart der Histogramme zur Visualisierung der Filterkriterien ist im Luftfahrtkontext gänzlich neu und die Bewertung der Piloten für diese Funktion daher von Interesse für die Studie. Ähnlich verhält es sich für die in Feld 8 abgebildete Funktion. Die Umsetzungsvariante, die zentralen Kriterien mit Balkendiagrammen zu visualisieren, um die notwendigen Informationen zu gewinnen, ist ebenfalls ein Kernaspekt, den die Studie untersucht. In diesem Punkt ist insbesondere die Frage von Interesse, ob die Balkendiagramme die gewünschte Aussagekraft aufweisen können.

Weiterhin werden im Rahmen der Studie die in Kapitel 1 aufgeführten Thesen untersucht, welche im Folgenden ausführlich betrachtet werden.

Die Diversität der möglichen zu untersuchenden Thesen ist aufgrund der offenen Themenstellung sehr groß. Daher mussten Thesen festgelegt werden, die eine klare Unterteilung zulassen. Hierfür bietet sich die Einteilung der Piloten nach der Altersgruppe an, da diese sehr gut messbar ist und einfach erfasst werden kann. Die erwartete Altersspanne der Piloten der Studie liegt zwischen 25 und 65 Jahren, weshalb die Einteilung in zwei Gruppen vorgenommen wurde. Die Piloten wurden hierfür in die Altersgruppen unter 45 Jahren und über 45 Jahren eingeteilt. Es wird von einem Bewertungsunterschied zwischen den Altersgruppen ausgegangen, da anzunehmen ist, dass sich die Altersgruppe unter 45 Jahren im privaten Umfeld mehr mit der Nutzung von digitalen Oberflächen befasst als die Altersgruppe über 45 Jahren. Ob sich daraus auch Unterschiede für die Bewertung des Prototyps ergeben, stellt eine interessante These im Rahmen dieser Untersuchungen dar.

Weiterhin bietet sich eine Unterteilung der Piloten nach der Art der Flugroute an. Dieser lässt sich ebenfalls einfach erfassen und in drei Gruppen unterteilen. Zu diesem Zweck wurden die Piloten in die Gruppen Langstrecke, Mittelstrecke und Kurzstrecke eingeteilt. Je nachdem welche dieser Flugroutenarten die Piloten zum Zeitpunkt der Studie hauptsächlich bedienten, wurden sie in die Gruppen eingeteilt. Hierbei muss erwähnt werden, dass Langstreckenpiloten vor dem Einsatz auf der Langstrecke, typischerweise im Kurz- und Mittelstreckenbetrieb tätig waren. Daher ist im Rahmen der Studie lediglich die aktuell von den Piloten geflogene Flugroutenart von Interesse und wurde dementsprechend abgefragt. Die Einteilung erfolgte dabei nach der Strecke in nautischen Meilen. Für Kurzstreckenflüge wurde diese auf eine Distanz bis zu 800 nautischen Meilen festgelegt, wodurch ein Großteil der Flugverbindungen innerhalb Mitteleuropas abgedeckt werden kann. Zur Einteilung der Mittelstreckenpiloten wurde eine Distanz von 800 nautischen Meilen bis 2000 nautischen Meilen gewählt. Durch diese werden Flüge aus Mitteleuropa zu entfernteren Zielen abgedeckt. Zu diesen zählen beispielsweise die Kanaren oder Island. Piloten, die überwiegend Strecken von über 2000 nautischen Meilen zurücklegen, wurden der Gruppe der Langstreckenpiloten zugeordnet. Bei diesen Flugverbindungen handelt es sich um interkontinentale Flugverbindungen, beispielsweise aus Europa in die USA oder Asien. Im Bezug auf die Bewertung des Prototyps wird von einem Unterschied zwischen den verschiedenen Flugroutenarten ausgegangen, da sich insbesondere die Langstreckenpiloten im Rahmen der Flugvorbereitung mehr mit dem Thema Ausweichflughäfen befassen müssen als Kurzstreckenpiloten. Die Begründung hierfür lässt sich unter anderem in der Flugstrecke und dem Flugzeugtyp identifizieren. Da Langstreckenflüge häufig große Wassermassen oder unbewohnte Gebiete überfliegen, sind mögliche Ausweichflughäfen teilweise weit von der geplanten Flugroute entfernt. Zudem erhöhen die verwendeten Langstreckenflugzeuge die Anforderungen an einen Ausweichflughafen, da diese im Gegensatz zu Kurzstreckenflugzeugen, eine deutlich längere Start- und Landebahn benötigen. Weiterhin benötigt der Ausweichflughafen unter anderem eine entsprechende Ausstattung, um ein Langstreckenflugzeug abfertigen zu können. Im Rahmen dieser Studie ist es folglich von Interesse, ob sich dieser Unterschied auch auf die Bewertung des Prototyps auswirkt. Im Verlauf der Studie sollte sich jedoch herausstellen, dass die Gruppe der Mittelstreckenpiloten unter den Piloten kaum vertreten war, weshalb diese Gruppe nicht als eigene Gruppe im Rahmen der Studie berücksichtigt werden konnte.

Für die These, dass die Piloten die Unterstützung der einzelnen Funktionen bei der Entscheidungsfindung als unterschiedlich hilfreich bewerten, bietet sich eine Unterteilung des Prototyps an. Dieses besteht aus acht Funktionen, die in Kapitel 2.2 beschrieben wurden. Diese Funktionen sind zwar inhaltlich miteinander verknüpft, können jedoch in ihrer Darstellung im Prototyp voneinander getrennt werden. Dadurch lassen sich die Aussagen im Rahmen dieser These einzeln und unabhängig mithilfe eines Fragebogens erfassen. Es wird von einem Unterschied im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung ausgegangen, da die Funktionen unterschiedliche Aspekte abdecken. Während einige Funktionen eine Filterung der Daten abbilden, werden diese durch andere Funktionen graphisch aufbereitet. Inwiefern sich dieser Unterschied in der Bewertung der Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die einzelnen Funktionen widerspiegelt, stellt im Rahmen der Studie eine interessante These dar.

Die zu betrachtenden Thesen sind im Folgenden zusammenfassend aufgeführt.

- Die Bewertung der Funktionen des Prototyps hängt von der Altersgruppe der Piloten ab
- Die Bewertung der Funktionen des Prototyps hängt davon ab, ob die Piloten überwiegend Lang- oder Kurzstrecke fliegen
- Die Piloten bewerten die verschiedenen Funktionen des Prototyps als unterschiedlich hilfreich im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass alle Funktionen des Prototyps von Interesse sind und dieses folglich als Gesamtsystem untersucht wird, der Fokus jedoch speziell auf den Feldern 5 und 8 und der Betrachtung der Thesen liegt.

3.2. Rahmenbedingungen der Studie

Für die Durchführung der Studie ergeben sich diverse Einschränkungen, welche im Folgenden diskutiert werden. Zunächst muss der Durchführungsort der Studie definiert werden. Hierfür ergeben sich im Wesentlichen zwei Möglichkeiten. Eine Möglichkeit ist die Durchführung der Studie in Präsenz. Methodisch bietet die Präsenzstudie den Vorteil, dass eine direkte Kommunikation mit den Teilnehmern möglich ist, insbesondere vor dem Hintergrund der nonverbalen Kommunikation. Dieser Vorteil wird auch in [21] angeführt. Weiterhin sind Präsenzstudien, wie auch in [21] erwähnt, für die Teilnehmer von größerer Attraktivität, da diese nicht so anstrengend sind, wie Online-Meetings. Nach [21] kann der Verlust der nonverbalen Kommunikation in Online-Meetings zudem zu Schweigepausen führen, welche keinen klaren Ursprung aufweisen.

Für eine Studie in Präsenz muss ein zentraler Austragungsort gewählt werden, um den Aufwand für die Teilnehmer und den Studienverantwortlichen gering zu halten. Bei der Wahl des Austragungsortes müssen die persönlichen Befindlichkeiten der Studienteilnehmer berücksichtigt werden, um eine möglichst hohe Anzahl an Teilnehmern zu ermöglichen. Die potenziellen Studienteilnehmer sind seitens des DLR in einem Emailverteiler erfasst. Bei den Personen im Verteiler handelt es sich um Piloten, die bei der Aufnahme in den Verteiler ein Interesse daran bekundet haben, an Forschungsstudien teilzunehmen. In dem Emailverteiler sind rund 140 Piloten erfasst, welche für die Teilnahme an der Studie kontaktiert werden. Im Hinblick auf den Austragungsort, ist der Standort Frankfurt für eine Präsenzstudie in Betracht zu ziehen. Hierfür bietet sich der Flughafen Frankfurt am Main besonders an, da dieser die Operationsbasis einer großen deutschen Airline darstellt und somit ein Großteil der Piloten im Emailverteiler regelmäßig am Flughafen in Frankfurt am Main anzutreffen ist. In der Folge wäre der Reiseaufwand für die Studienteilnehmer am Flughafen Frankfurt am Main gering, da diese vor oder nach der Ausübung ihrer Pilotentätigkeit an der Studie teilnehmen könnten. Da das DLR keine eigenen Räumlichkeiten in der Umgebung des Flughafen Frankfurt am Main hat, müsste für eine Präsenzstudie eine Räumlichkeit angemietet werden, was mit erhöhten Kosten einhergeht. Zudem würde der Reiseaufwand des Studienverantwortlichen steigen, da dieser am Standort Braunschweig des DLR platziert ist. Weiterhin müsste das benötigte Equipment für die Studie ebenfalls von Braunschweig nach Frankfurt transportiert werden. In Summe stehen der Durchführung in Präsenz am Flughafen Frankfurt am Main zu hohe Aufwendungen entgegen, als dass dieser Ansatz bei der Studienplanung weiter berücksichtigt werden kann.

Eine weitere Möglichkeit für eine Präsenzstudie wird durch den Austragungsort am DLR in Braunschweig repräsentiert. Dieser bietet den Vorteil, dass das notwendige Equipment und die notwendigen Räumlichkeiten

bereits vorhanden sind. Nachteilig wirkt sich jedoch der Reiseaufwand für die Studienteilnehmer aus, die in ihrer Freizeit den Weg nach Braunschweig auf sich nehmen müssten. Diese Einschränkung senkt die Attraktivität der Studie, sodass die Anzahl der Studienteilnehmer unter diesen Umständen wahrscheinlich gering wäre. Vor diesem Hintergrund wird auch diese Durchführungsvariante nicht weiter berücksichtigt. Somit scheidet eine Präsenzstudie für die weiteren Betrachtungen aus.

Nachdem sich eine Durchführung der Studie in Präsenz als nicht umsetzungsfähig erwiesen hat, verbleibt lediglich das Onlineformat zur Umsetzung der Studie. Dieses lässt sich in zwei Kategorien unterteilen. Eine Kategorie wird durch das sogenannte On-Demand repräsentiert. Dieses bezeichnet die Möglichkeit die Inhalte zu einem frei wählbaren Zeitpunkt abzurufen [27]. Dadurch weist die On-Demand Durchführung eine sehr hohe Flexibilität für die Teilnehmer auf, was die Attraktivität der Studie steigern könnte. Allerdings stellt diese Flexibilität auch einen Nachteil dar, da die Teilnehmer im Gegensatz zu einem Live-Online-Termin keine terminliche Verpflichtung haben, und die Teilnahme an der Studie somit in Vergessenheit geraten kann. Für die Kommunikation ergibt sich zusätzlich zum Verlust der nonverbalen Kommunikation der Nachteil, dass die Kommunikation lediglich über Textnachrichten stattfinden würde, und somit die Möglichkeit für direkte Nachfragen eingeschränkt wird. Weiterhin gestaltet sich die Freigabe der relevanten Inhalte des Prototyps als schwierig, da die Teilnehmer keinen Zugriff auf die notwendige Software haben. Somit verbleibt zur Veranschaulichung der Inhalte des Prototyps lediglich eine Videoaufzeichnung, was für ein derart dynamisches und interaktives Assistenzsystem als starke Einschränkung zu interpretieren ist. Vor diesem Hintergrund eignet sich eine Durchführung der Studie im On-Demand Stil ebenfalls nicht.

Somit verbleibt für die Durchführung der Studie ein Online-Meeting. Dieses wird in Form eines Live-Termins abgehalten, um einen konkreten Zeitpunkt für die Studie festzulegen. Ein Vorteil dieser Durchführungsvariante ist die hohe Flexibilität der Teilnehmer. Diese können dadurch frei über den Teilnahmeort und den Studienzeitpunkt entscheiden. Zur Konkretisierung des Studienzeitpunkts muss lediglich ein Termin mit dem Studienverantwortlichen abgeklärt werden. Wie bereits in [21] erwähnt, bietet ein Online-Meeting den prägnanten Vorteil, dass der benötigte Zeitaufwand der Studienteilnehmer nur geringfügig größer ist als die reine Versuchszeit. Das liegt darin begründet, dass die Teilnehmer keine Reiseaufwendungen haben. Diese Tatsache kann dazu beitragen die Attraktivität der Studie zu steigern und somit eine höhere Teilnehmerzahl zu erreichen.

Die Durchführung als Online-Meeting bietet jedoch auch Nachteile. Wie bereits bei der On-Demand Durchführung, kann ein Online-Termin die nonverbale Kommunikation nur geringfügig erfassen. Weiterhin ist der Charakter eines Online-Meetings im Allgemeinen als Nachteil zu interpretieren, da dadurch eine direkte Interaktion mit dem Prototyp nicht realisiert werden kann. Das liegt darin begründet, dass die Teilnehmer keinen Zugriff auf die benötigte Software (MATLAB) haben.

Hinsichtlich der Teilnehmeranzahl muss ein weiterer Aspekt im Hinblick auf die Studie diskutiert werden. Die übliche Cockpitanordnung eines Verkehrsflugzeugs besteht heutzutage aus der Multi Pilot Operation Konfiguration. Das bedeutet, dass die Abläufe im Cockpit darauf ausgerichtet sind, dass zwei Piloten die Durchführung des Fluges übernehmen. Dies bringt nach [28] den Vorteil mit sich, dass das Phänomen des Confirmation Bias (Entscheidungsfindung auf Basis der eigenen Erwartung) und der Target Fixation (Fixierung auf ein Ziel ohne Wahrnehmung weiterer Optionen) reduziert wird. Da die Durchführung der Studie im MPO Betrieb allerdings zwei Piloten pro Studie binden würde, würde auch die Anzahl an durchführbaren Studien halbiert werden. Vor dem

Hintergrund der geringen anzunehmenden Teilnehmeranzahl, ist dieser Aspekt als starke Einschränkung zu interpretieren.

Weiterhin fokussiert sich die Studie ausschließlich auf den Aspekt der Suche nach einem geeigneten Ausweichflughafen, weshalb die üblichen Restanforderungen an die Durchführung des Fluges (Aviate, Navigate, Communicate), wofür zwangsläufig ein MPO Betrieb erforderlich ist, in den Hintergrund rücken. Zwar wird die Entscheidung für einen Ausweichflughafen stets zu zweit getroffen, um die beschriebenen Phänomene (Confirmation Bias, Target Fixation) zu verhindern, für die Suche nach einem Ausweichflughafen kann die Bearbeitung durch lediglich einen Piloten jedoch in Kauf genommen werden. Die höhere Anzahl an Studien, die eine Ein-Piloten-Studie ermöglicht, bietet somit einen höheren Mehrwert als Studien im Zweipilotenbetrieb. Zudem würde sich die Realisierung von Studien im Zweipilotenbetrieb negativ auf die Studienplanung auswirken. Letztlich ist es ebenfalls das langfristige Ziel des Projekts NiCo, den Betrieb in Single-Pilot-Operation Konfiguration zu untersuchen, was die Durchführung einer Einzelstudie zusätzlich unterstützt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Studie unter Berücksichtigung der Rahmenbedingung als Online-Meeting im Livetermin Format in Form einer Einzelstudie durchgeführt wird.

3.3. Auswahl der Methode

Nachdem die Rahmenbedingungen ergeben haben, dass die Studie mithilfe eines Online-Termins durchgeführt wird, muss der Inhalt der Studie näher definiert werden. Hierfür geht aus der in Kapitel 2.3 analysierten Literatur, der Test an einem Prototyp als sinnvolles Mittel hervor. Grundsätzlich sind auch andere Formen zur Durchführung der Studie denkbar. Diese beschränken sich aufgrund des Onlinecharakters auf eine Präsentation von Inhalten durch den Studienverantwortlichen oder eine eigenständige Nutzung des Prototyps durch die Teilnehmer. Für die Umsetzung auf Präsentationsbasis bietet sich beispielsweise eine Studie mit einem Interviewcharakter an. Bei dieser bewerten die Teilnehmer vordefinierte Inhalte des Prototyps, ohne aktiv Einfluss auf die dargestellten Inhalte nehmen zu können. Diese Variante bietet den Vorteil, dass die Inhalte des Prototyps und Interaktionsmöglichkeiten vom Studienverantwortlichen gesteuert werden können, und die Teilnehmer diese lediglich kommentieren und bewerten. In diesem Punkt kann allerdings auch ein Nachteil dieser Durchführungsvariante identifiziert werden. Dadurch, dass die Teilnehmer das System nicht eigenständig bedienen können, könnte diese Studienform als eine Art der Bevormundung interpretiert werden, was sich negativ auf die Motivation der Teilnehmer auswirken könnte. Zudem dient die Studie der Erforschung der Bewertung des Prototyps, was einer Durchführung als Präsentation entgegenspricht. Ein weiteres Konzept, das diesen Gedanken aufgreift, ist die Evaluierung mit Fragebögen. Bei diesem Konzept bewerten die Teilnehmer die Inhalte des Prototyps mithilfe eines Fragebogens. Hierfür werden während des Live-Termins die Inhalte ebenfalls durch den Studienverantwortlichen präsentiert. Im Vergleich zum Interview wird den Teilnehmern allerdings die Möglichkeit genommen, während der Präsentation der Inhalte diese zu kommentieren. Im Fragebogen werden im Anschluss die relevanten Daten zur Evaluierung erfasst.

Im Gegensatz zu den beschriebenen Methoden, bietet der Test am Prototyp den Vorteil, dass dieser interaktiv ist und die Teilnehmer somit eigenständig den Funktionsumfang des Prototyps testen können. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf die Motivation der Teilnehmer aus, da diese den Prototyp entsprechend ihren eigenen Vorstellungen testen können und nicht durch den Studienverantwortlichen eingeschränkt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass die Teilnehmer ihr Vorgehen kommentieren. Aus diesen Kommentaren können ebenfalls

Informationen zur Bewertung der Teilnehmer gewonnen werden. Weiterhin bietet der Test am Prototyp den Vorteil, dass die Erfahrungen der Teilnehmer im Nachhinein durch einen Fragebogen erfasst werden können. Dadurch können, neben den qualitativen Aussagen während des Live-Interviews, zusätzlich quantitative Daten eingeholt werden. Wie die Interaktionsmöglichkeiten mit dem Prototyp im Onlineformat abgedeckt werden, wird in Kapitel 4.1 erläutert.

Die vielschichtigen Vorteile dieser Methodik führen zu der Entscheidung, diese für die Studie anzuwenden. Im Folgenden wird die Studie unter Anwendung dieser Methodik weiterführend erläutert.

Die Evaluierung der Funktionen des Prototyps erfolgt im Rahmen der Studie mithilfe unterschiedlicher Szenarien. Diese verfolgen das Ziel, möglichst viele Funktionen des Prototyps im Rahmen dieser Szenarien anzuwenden. Zudem müssen die Szenarien eine Situation hervorrufen, die die Teilnehmer zur Suche nach einem Ausweichflughafen bewegt. Hinsichtlich der Anzahl an Szenarien, die während der Studie bearbeitet werden, sind mehrere Punkte zu berücksichtigen. Im Allgemeinen bietet eine hohe Anzahl an Szenarien den Vorteil, dass der Prototyp unter Berücksichtigung unterschiedlicher Flugzeugsystemfehler evaluiert werden kann. Hierfür muss jedes Szenario einen unterschiedlichen Systemfehler aufweisen, der die Suche nach einem Ausweichflughafen initiiert. Hierdurch können Informationen gewonnen werden, inwiefern der Prototyp in Abhängigkeit des Systemfehlers die Piloten bei der Auswahl eines Ausweichflughafens unterstützen kann. Der Nachteil, den eine hohe Anzahl an Szenarien hervorruft, ist der höhere Zeitaufwand. Der Gesamtzeitaufwand der Studie für die Teilnehmer würde hierdurch deutlich zunehmen. Weiterhin lassen sich, wie bereits in Kapitel 2.1.3 beschrieben, die möglichen Systemfehler in zwei Kategorien unterteilen (zeitkritische und nicht zeitkritische Fehler). Daraus kann gefolgert werden, dass mithilfe von zwei Szenarien der Charakter eines jeden Abnormals abgebildet werden kann. Durch diese Klassifizierung der Systemfehler ist es möglich, die Entscheidungsfindung für einen beliebigen zeitunkritischen Systemfehler auf alle zeitunkritischen Systemfehler zu projizieren. Dies gilt ebenso für zeitkritische Systemfehler. Zwar haben die möglichen Systemfehler unterschiedliche Auswirkungen, jedoch ist die Vorgehensweise bei der Suche nach einem Ausweichflughafen für alle zeitunkritischen Fehler identisch. Dasselbe gilt ebenfalls für alle zeitkritischen Fehler. Hierfür wurde, ebenfalls in Kapitel 2.1.3, die Vorgehensweise hinsichtlich der first suitable option und best suitable option erläutert. Folglich kann durch die Verwendung von lediglich zwei Szenarien jede Kategorie von Systemfehlern abgedeckt werden. Zudem bietet die Verwendung von zwei Szenarien den Vorteil des geringeren Zeitaufwands für die Teilnehmer. Um dem in [21] beschriebenen Phänomen der fehlenden Eingewöhnung vorzubeugen und um die Teilnehmer im Allgemeinen in die Nutzung des für sie unbekanntem Prototyps einzuführen, wird vor den eigentlichen Szenarien ein Beispielszenario bearbeitet, in dem die Teilnehmer die Möglichkeit haben, sich mit dem Prototyp vertraut zu machen.

Für die Durchführung der Studie werden folglich zwei Szenarien und ein Beispielszenario geplant, welche unterschiedliche Kategorien von Systemfehlern aufweisen. Der Inhalt dieser Szenarien wird in Kapitel 3.4 erläutert.

Um die während der Studie durch den Austausch mit den Teilnehmern gewonnen Erkenntnisse und Kommentare zu unterstützen, werden auch für diese Studie Fragebögen verwendet. Diese wurden ebenfalls in den beschriebenen Studien [20, 23] verwendet und stellen ein effektives Mittel zur quantitativen Datenerfassung dar. Zur Erfassung soziodemographischer Daten der Teilnehmer, wird diesen im Vorhinein der Studie ein Vorabfragebogen zugesandt. Der Fragebogen ist in digitaler Form im Umfragetool LimeSurvey [29] erfasst und enthält neben soziodemographischen Fragen, Fragen zur beruflichen Tätigkeit. Diese implizieren Fragen zur

Berufserfahrung sowie zu eventuellen Zusatzqualifikationen. Die Erkenntnisse aus dem Vorabfragebogen sind insbesondere zur Beantwortung der Thesen bezüglich der Bewertung jüngerer und älterer Altersgruppen sowie zum Bewertungsunterschied zwischen Lang- und Kurzstreckenpiloten von Relevanz. Die Inhalte des Vorabfragebogens können dem Anhang 1 entnommen werden. Um quantitative Daten zum Prototyp zu erhalten, beantworten die Teilnehmer im Anschluss an die Studie einen Abschlussfragebogen. Dieser ist ebenfalls im Umfragetool LimeSurvey erfasst und kann dem Anhang 2 entnommen werden. Der Abschlussfragebogen ist in fünf Abschnitte unterteilt. Die Abschnitte eins und zwei dienen der Erfassung von Daten zum gesamten Prototyp. Diese beinhalten eine Bewertung der einzelnen Funktionen des Prototyps im Hinblick auf die Unterstützung und Benutzerfreundlichkeit der jeweiligen Funktion sowie allgemeine Fragen zu ausgewählten Funktionen. Die Abschnitte drei und vier beinhalten Fragen und Aussagen zu den Feldern 5 und 8 des Prototyps, welche, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, von besonderem Interesse für die Studie sind. Der letzte Abschnitt gibt den Teilnehmern die Möglichkeit freies Feedback zum Prototyp zu äußern.

Die Erfassung der Aussagen der Teilnehmer ist im Fragebogen konsistent in Form von Likert-Skalen vorgenommen. Hierfür wurden Likert-Skalen mit einer geraden Anzahl von Antwortmöglichkeiten gewählt, die den Vorteil haben, dass sie durch die Einschränkung der Antwortmöglichkeiten eine Tendenz der Teilnehmer erfassen und somit keine neutralen Antworten möglich sind. Zudem kann erfasst werden wie stark oder wenig die Befragten der jeweiligen Aussage zustimmen [30, 31]. Diese Art von Antwortoptionen wird der Ordinalskala zugeordnet [32]. Diese bietet den Vorteil, dass unter Anwendung einer Kodierung die Antwort mit einem Zahlenwert verknüpft werden kann. So werden Aussagen zu statistisch wichtigen Kennzahlen, wie dem arithmetischen Mittel und der Standardabweichung möglich. Die Kodierung der Aussagen im Fragebogen, welche mithilfe von Likert-Skalen beantwortet werden, erfolgt nach dem folgenden Schema:

- Stimme zu = 2
- Stimme eher zu = 1
- Keine Antwort = 0
- Stimme eher nicht zu = -1
- Stimme nicht zu = -2

Auch wenn sich der Antworttext teilweise unterscheidet, wurde stets die gleiche Logik zur Kodierung verwendet. Die zwei positiven Antwortmöglichkeiten sind mit positiven Zahlenwerten verknüpft, während negative Antwortmöglichkeiten mit negativen Zahlenwerten verknüpft sind. Nicht beantwortete Fragen werden mit einer 0 verknüpft.

Weiterhin erfolgt die Erfassung aller Eingaben der Teilnehmer anonymisiert. In der Folge ist es nicht möglich, die erfassten Fragebögen dem Teilnehmer zuzuordnen. Diese Anonymisierung wird mithilfe von Zugangscodes realisiert. Diese ermöglichen eine Zuordnung von Vorabfragebogen und Abschlussfragebogen, ohne die Identität des Teilnehmers preiszugeben. Zur Anonymisierung der Teilnehmer werden diese im Verlauf dieser Arbeit ausschließlich mit dem Synonym „Pilot“ bezeichnet. Das Dokument zur Vergabe der Zugangscodes, welches einen Rückschluss auf den jeweiligen Teilnehmer ermöglicht, wird mit Abschluss der Studie vernichtet.

Neben den Fragebögen wird die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring angewandt, um die Studie auszuwerten. Bei dieser handelt es sich um ein Verfahren zur Auswertung von Kommunikationsmaterial oder Texten [33]. Mithilfe der zusammenfassenden Inhaltsanalyse, welche sich insbesondere für die inhaltliche Analyse

von Daten eignet, können die für die jeweilige Funktion relevanten Aussagen der Teilnehmer zusammengefasst werden. Hierfür wird mithilfe der Aufzeichnung im Nachgang der Studie ein Transkript mit entsprechenden Zeitverweisen angefertigt. Die transkribierten Aussagen werden entsprechend der Inhaltsanalyse nach Mayring in ein Kategoriensystem eingeteilt. Im hiesigen Fall stellt jede Funktion des Prototyps eine Kategorie dar. Die Aussagen zu den Kategorien werden für alle Teilnehmer zusammengetragen und im Rahmen der Auswertung diskutiert.

Der gesamte Prozess zur Definition der Studie ist in Abbildung 3-1 dargestellt und dient dazu die getroffenen Entscheidungen graphisch zu erfassen.

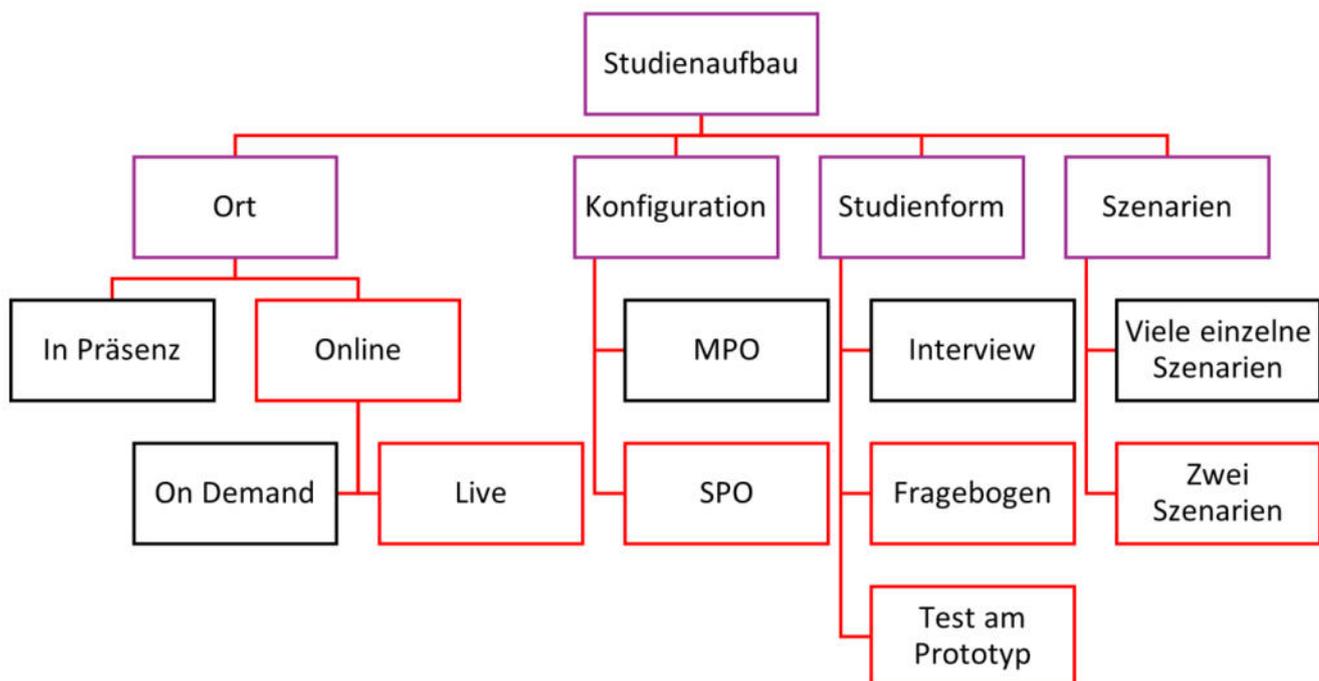


Abbildung 3-1: Visualisierung zur Methodikauswahl

3.4. Planung der Szenarien

Zur Durchführung der Studie werden, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, zwei Szenarien benötigt. Um die Suche nach einem Ausweichflughafen zu initiieren, muss das Flugzeug einen Fehler aufweisen. Weiterhin wird für die Studie stets ein Auftreten des Fehlers auf Reiseflughöhe angenommen. Das ist eine notwendige Bedingung, um das Suchgebiet nicht einzuschränken und somit die Nutzung des Prototyps zu gewährleisten. Würde ein Fehler im Landeanflug auf einen Flughafen auftreten, wäre das Suchgebiet für einen Ausweichflughafen eingeschränkt, da für ein Ausweichen zu einem weit entfernten Flughafen, nicht ausreichend Kraftstoff zur Verfügung stünde. So würde sich in diesen Fällen, die Auswahl stark auf umliegende Flughäfen beschränken. Ähnlich verhält es sich mit auftretenden Fehlern nach dem Start. In diesen Fällen wäre eine Umkehr zum Startflughafen sehr wahrscheinlich.

Selbst wenn dieser keine Landung ermöglichen würde, wäre das Suchgebiet für einen Ausweichflughafen erneut auf Flughäfen in der näheren Umgebung eingeschränkt. Vor diesem Hintergrund bietet ein Auftreten des Fehlers auf Reiseflughöhe den Vorteil, dass für die Piloten ausreichend Zeit bleibt, um einen geeigneten Ausweichflughafen zu identifizieren. Auch wenn die Piloten in der Studie das Flugzeug zwar nicht aktiv fliegen, stellt ein Auftreten des Fehlers auf Reiseflughöhe das realistischste Szenario zur ergebnisoffenen Suche nach einem Ausweichflughafen dar.

Für das erste Szenario wird ein zeitunkritischer Fehler angenommen. Nach dem Handbuch, welches für den A320 vorliegt, existiert eine große Anzahl an zeitunkritischen Fehlern mit unterschiedlichen Konsequenzen. Diese sind im Handbuch im Abschnitt „Abnormal Procedures“ aufgeführt. Unter diesen wird ein Fehler gewählt, der die Piloten einerseits zur Suche nach einem Ausweichflughafen bewegt, und andererseits Konsequenzen aufweist, die sich für eine Anwendung des Prototyps eignen. Unter den im Handbuch erfassten zeitunkritischen Fehlern, existieren diverse Fehler, die lediglich geringen Einfluss auf die Durchführung des Fluges haben und somit eine Fortsetzung des Fluges zum Zielflughafen ermöglichen. Zu diesen Fehlern zählt beispielsweise eine Fehlfunktion der Cockpittür. Ein weiterer Fehler dieser Art ist ein Ausfall der Kraftstoffpumpen, bei welchem die Bereitstellung des Treibstoffs unter Nutzung der Gravitation gewährleistet werden kann. Diese Fehler eignen sich nicht für die Studie, da davon auszugehen ist, dass die Piloten im Interesse der Passagiere zum Zielflughafen weiterfliegen würden.

Ein zeitunkritischer Fehler, der sich für die Betrachtungen dieser Studie besonders eignet, ist ein Verklemmen des Seitenruders. Im Handbuch ist dieser unter der Bezeichnung „Rudder Jam“ aufgeführt. Dieser ist für die Untersuchung des Prototyps geeignet, da es ein Fehler ist, der den bei der Landung zulässigen Seitenwind auf 15 Knoten limitiert. Diese Einschränkung legt die Nutzung der numerischen Filterkriterien, also dem Feld 5 des Prototyps, nahe. Der Fehler schränkt die Manövrierbarkeit des Flugzeugs um die Hochachse ein. Während des Fluges kann dieser Zustand durch die Nutzung der Querruder ausgeglichen werden, für die Landung ist dieser allerdings insbesondere im Hochgeschwindigkeitsbereich von Relevanz. Bei geringeren Geschwindigkeiten kann die Steuerung um die Hochachse zwar durch das Bugrad übernommen werden, für die Auswahl des Ausweichflughafens ist die Einschränkung jedoch als maßgeblich zu interpretieren. Zudem ist lediglich das Seitenruder von dem Fehler betroffen, wodurch keine weiteren Einschränkungen für die anderen Flugzeugsysteme entstehen. In der Folge können die Piloten den Flug zwar vorerst fortsetzen, müssen jedoch beachten, dass sich der Treibstoffverbrauch durch den Fehler erhöht, sowie eine Landung am Zielflughafen aufgrund der Limitierung auf 15 Knoten Seitenwind eventuell nicht mehr möglich ist. Somit bietet sich für die Suche nach einem Ausweichflughafen bei diesem Fehler die Nutzung des Prototyps an. Zudem bietet der Fehler, wie bereits erwähnt, die Möglichkeit, die Funktion der numerischen Filterung zu evaluieren, was nach Kapitel 3.1 einen Kernaspekt der Untersuchungen darstellt. Der entsprechende Auszug aus dem Handbuch zum Fehler „Rudder Jam“ kann der Abbildung 3-2 entnommen werden.

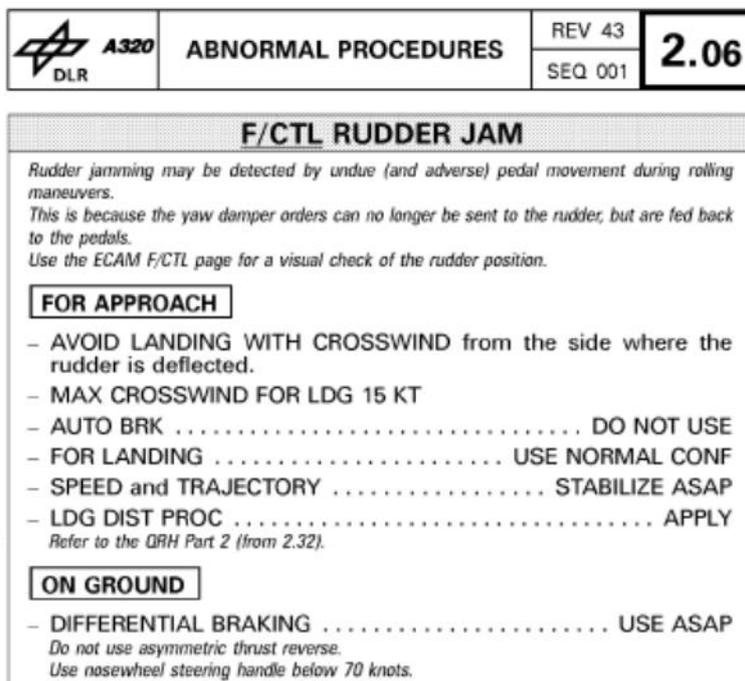


Abbildung 3-2: Handbuchauszug zum Rudder Jam

Bei der Wahl der Flugroute, welche für dieses Szenario angenommen wird, sind mehrere Punkte zu beachten. Zunächst muss berücksichtigt werden, dass im Prototyp lediglich europäische Flughäfen erfasst sind. Das beschränkt die mögliche Flugroute auf Verbindungen auf dem europäischen Kontinent. Um den Teilnehmern zudem ausreichend Zeit zur Suche nach einem Ausweichflughafen zu geben, muss der Fehler bei ausreichender Entfernung zum Zielflughafen auftreten. Weiterhin muss der Flug jedoch bereits fortgeschritten sein, um eine Rückkehr zum Startflughafen einzuschränken. In Anbetracht dieser Punkte wurde für das Szenario ein Flug von Stockholm (Schweden) nach Rom (Italien) angenommen. Der Systemfehler Rudder Jam tritt beim Überflug der Ostseeinsel Usedom auf Reiseflughöhe auf. Die Flugroute ist in Abbildung 3-3 dargestellt und wurde mithilfe des SimBrief Dispatch System [34] erstellt. Diese Flugroute, in Kombination mit dem Auftrittszeitpunkt des Fehlers, bietet den Teilnehmern eine hohe Anzahl an möglichen Ausweichflughäfen. Das Abfluggewicht des Flugzeugs wird zudem so im Flugplan hinterlegt, dass eine Überschreitung des maximalen Landegewichts, hervorgerufen durch eine hohe Treibstofflast in Kombination mit einer hohen Nutzlast, für das Szenario ausgeschlossen ist. In der Folge könnten die Teilnehmer in diesem Szenario eine umgehende Landung am Flughafen in Rostock-Laage in Erwägung ziehen. Um die Nutzung des Prototyps, insbesondere des Feldes 5 zu analysieren, wurde ein Tag mit hohen Bodenwinden über Deutschland ausgewählt. Da der Prototyp lediglich zuvor festgelegte Daten verarbeiten kann, fiel die Wahl auf den 21.12.2023. Die Wetterdaten dieses Tages werden mit einem MATLAB-Skript geparkt, um sie in das System einzulesen. Dafür sind die relevanten Wetterdaten und Vorhersagen zu einer bestimmten Uhrzeit als Rohdaten erforderlich. Diese werden mithilfe der Webanwendung Ogimet [35] beschafft. Mithilfe der Webanwendung ist es möglich, die aktuelle Wettersituation und Wettervorhersage, welche in Form des METAR (Meteorological Aerodrome Report) und TAF (Terminal Aerodrome Forecast) vorliegt, für jeden in der Datenbank hinterlegten Flughafen darzustellen.

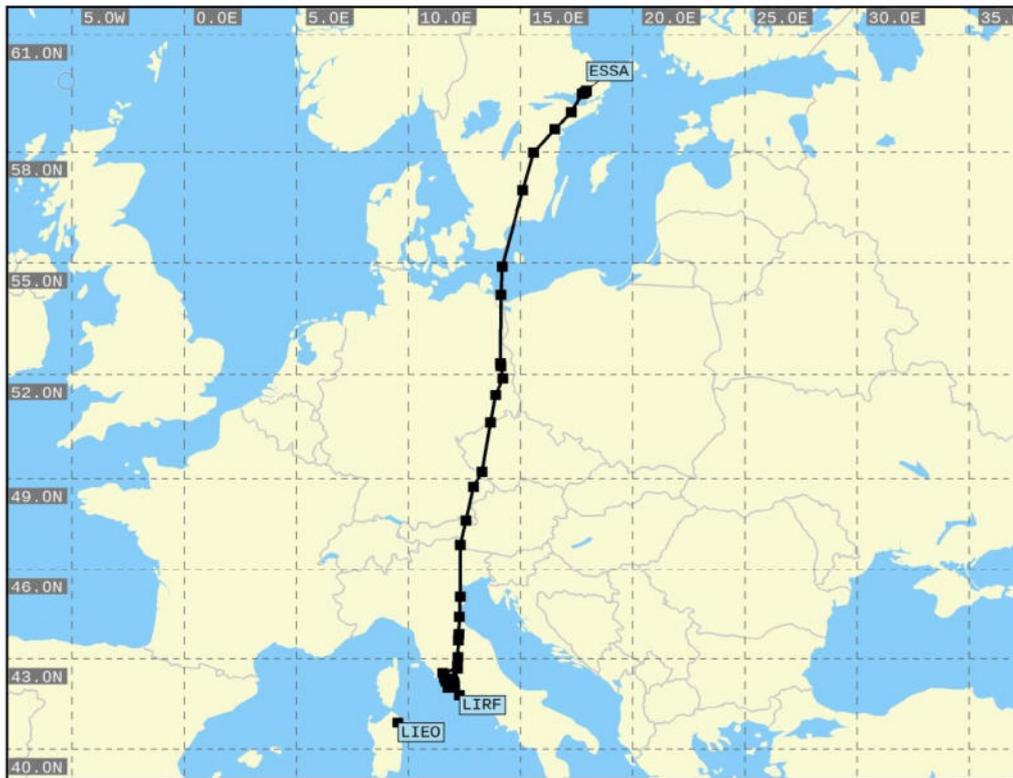


Abbildung 3-3: Flugroute zum Szenario eins (Quelle [34])

Die Winddaten ausgewählter Flughäfen werden für dieses Szenario nachträglich angepasst, um die intensive Nutzung des Prototyps während der Studie zu gewährleisten und somit eine hohe Anzahl an Aussagen und Kommentaren zu erhalten. Bei den Flughäfen, für die die Winddaten manipuliert werden, handelt es sich um die Flughäfen Berlin Brandenburg, Frankfurt am Main, und München. Für die Flughäfen München und Berlin wird die vorhandene Windkomponente erhöht, sodass eine Landung aufgrund der Limitation von 15 Knoten Seitenwind an diesen Flughäfen nicht möglich ist. Diese Manipulation wird vorgenommen, da die Flughäfen Berlin Brandenburg und München Technikstandorte einer großen deutschen Airline sind und auf der Flugroute liegen. Da die Studie überwiegend mit Piloten dieser Airline durchgeführt wird, liegt der Schluss nahe, dass diese Flughäfen direkt als Ausweichflughäfen ausgewählt werden, ohne andere Flughäfen in Betracht zu ziehen.

Die Winddaten des Flughafens Frankfurt am Main werden derart manipuliert, dass ein konstanter Seitenwind mit einer Stärke von zehn Knoten mit Böen bis zu 15 Knoten vorliegt. Damit entspricht der vorliegende Wind exakt dem vom Fehler vorgegeben Seitenwindlimit von 15 Knoten. Dieser Sachverhalt wird gewählt, um die Attraktivität einer Ausweichlandung in Frankfurt am Main zu senken, welcher ebenfalls sehr gute Wartungsmöglichkeiten aufweist. Die Großwetterlage für das Szenario eins kann der Abbildung 3-4 entnommen werden [36].

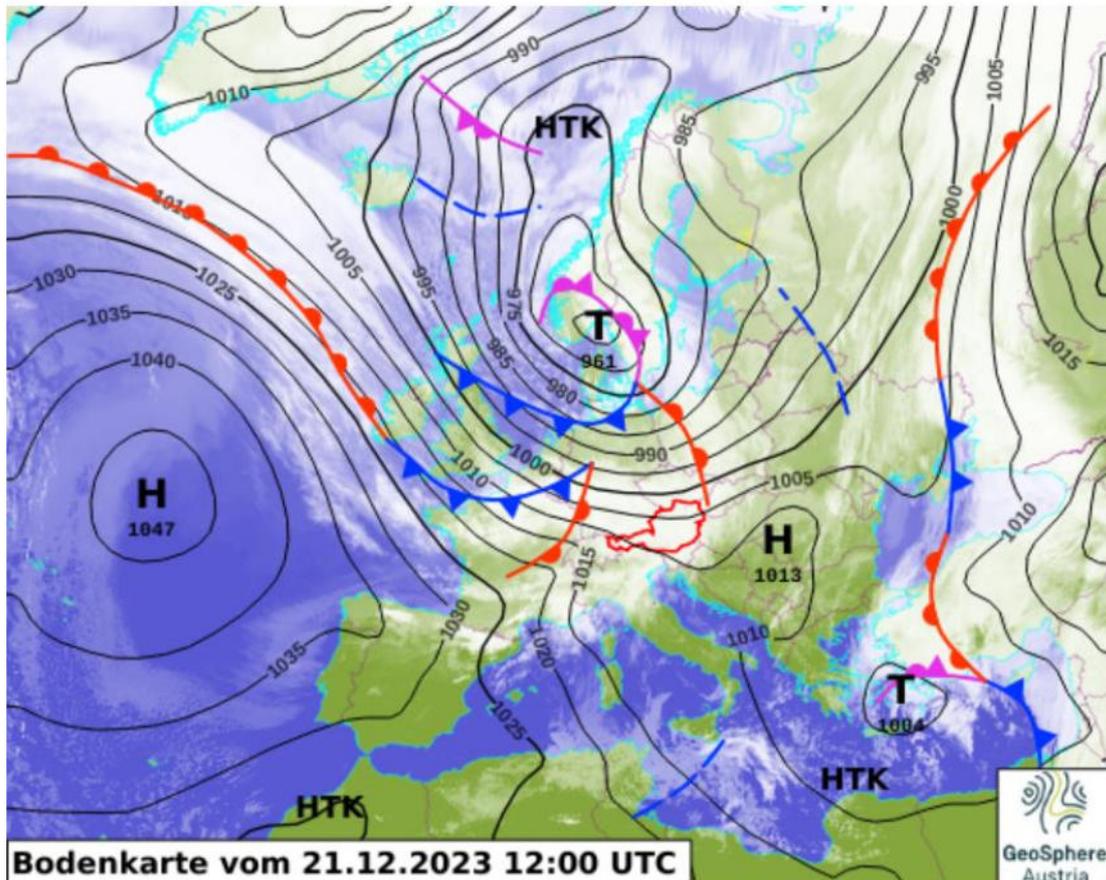


Abbildung 3-4: Großwetterlage zum Szenario eins (Quelle [36])

Für das zweite Szenario wird ein Fehler angenommen, der deutlich mehr Einschränkungen aufweist als ein verklemmtes Seitenruder. Das Ziel des Szenarios ist es, das Prototyps in kritischen Situationen zu analysieren. Wie bereits beschrieben, werden Systemfehler in zeitkritische und zeitunkritische Fehler unterteilt. In Szenario eins wird der zeitunkritische Fehler abgebildet, sodass in Szenario zwei ein zeitkritischer Fehler abgebildet werden soll. Die zeitkritischen Fehler sind im Handbuch des A320 teilweise im Kapitel „emergency procedures“ aufgeführt und repräsentieren Fehler, die eine umgehende Landung des Flugzeugs erfordern. Zwar sind im Kapitel „emergency procedures“ auch Fehler aufgelistet, die keine umgehende Landung erfordern, diese Fehler schränken allerdings den Betrieb des Flugzeugs maßgeblich ein. Im Kontext des Ausweichflughafens ist für zeitkritische Fehler der Begriff der first suitable option hervorzuheben. Die zeitkritischen Fehler sind im Handbuch zudem mit dem Begriff „Land ASAP“ (Land as soon as possible) gekennzeichnet, was ebenfalls auf eine unverzügliche Landung hinweist. Vor diesem Hintergrund eignet sich ein zeitkritisches Szenario nicht für die Untersuchung im Rahmen dieser Studie, da die Piloten bei einem derartigen Fehler stets den nächstmöglichen Ausweichflughafen wählen würden, ohne den Prototyp intensiv zu nutzen. Zwar könnte dem Prototyp der nächstmögliche Flughafen auf Basis des Systemfehlers entnommen werden, dieser muss jedoch ausgewählt werden, ohne weitere Optionen in Betracht zu ziehen, da es sich um die first suitable option handelt. Das Szenario wäre demnach in einer sehr kurzen Zeit bearbeitet, und der Erkenntnisgewinn im Rahmen der Studie gering. Aus diesem Grund wird für das zweite Szenario ebenfalls ein laut Handbuch zeitunkritischer Fehler ohne die Aufforderung nach einer unverzüglichen Landung angenommen.

Der Fehler soll hierfür ein Landebedürfnis hervorrufen, welches jedoch nicht unmittelbar ist. Ziel ist es, die Piloten mit einem Fehler zu konfrontieren, der den Betrieb des Flugzeugs erschwert, sodass das Flugzeug zwar noch operativ ist, die Piloten jedoch den Flug nicht wie geplant fortführen können und einen Ausweichflughafen zeitnah auswählen müssen. Somit wird die Nutzung des Prototyps gewährleistet, mit dem Unterschied, dass die Piloten mit einem dringlicheren Fehler konfrontiert sind als im ersten Szenario. Nach studieren des Handbuchs, kann der Ausfall eines Hydrauliksystems als ein geeigneter Fehler für dieses Szenario identifiziert werden.

Da der A320 über drei Hydraulikkreisläufe (Green, Blue, Yellow) verfügt, kann der Flug mithilfe der zwei verbleibenden Hydrauliksysteme fortgesetzt werden. Die einzelnen Hydraulikkreisläufe sind für die Steuerung unterschiedlicher Steuerflächen und Komponenten zuständig, sodass das Flugzeug manövrierfähig bleibt. Die Zuordnung der einzelnen Systeme und Komponenten zu den Hydraulikkreisläufen kann dem A320 Flight Crew Operating Manual entnommen werden. Das grüne Hydrauliksystem steuert die meisten Komponenten und Steuerflächen an. Um eine möglichst kritische Situation für das Szenario hervorzurufen, wird in diesem der Ausfall des grünen Hydrauliksystems angenommen. Hierbei ist es wichtig zu spezifizieren, dass das Hydrauliksystem für das Szenario leckgeschlagen ist, da geringer Hydraulikdruck im grünen System bei vorhandener Hydraulikflüssigkeit mithilfe der Power Transfer Unit (PTU) ausgeglichen werden kann. Der Fehler ruft demnach die folgenden zur Bearbeitung des Szenarios relevanten Einschränkungen hervor, die nicht mithilfe der anderen Hydraulikkreisläufe kompensiert werden können:

- Ausfall der Bugradsteuerung
- Ausfall der Schubumkehr des Triebwerks 1
- Ausfall der automatischen Bremsen
- Ausfall des Mechanismus zum Ein- und Ausfahren des Fahrwerks
- Ausfall der Fähigkeit zur Landung unter CAT III Dual Bedingungen

Insbesondere der Ausfall der Fahrwerkssteuerung wirkt sich auf die Auswahl des Ausweichflughafens aus, da das Fahrwerk zwar ausgefahren, danach jedoch nicht wieder eingezogen werden kann. Das Ausfahren des Fahrwerks wird mithilfe der Gravitation ermöglicht, welches bei Aktivierung der gravity extension aus dem Fahrwerksschacht fällt. Sollten die Piloten sich beim Landeanflug für ein Durchstarten entscheiden, könnte das Fahrwerk nicht eingefahren werden, was den Treibstoffverbrauch des Flugzeugs deutlich erhöht. Für die Betrachtungen in diesem Szenario ist das von Relevanz, da sich die Piloten somit bei der Wahl eines Ausweichflughafens auf eine Region eindeutig festlegen.

Die Flugroute für dieses Szenario wurde so gewählt, dass die Auswahl eines Ausweichflughafens ebenfalls erschwert wird. Eine besondere Herausforderung für die Auswahl eines Ausweichflughafens wird unter anderem durch den Überflug von Meeren und Ozeanen dargestellt, da mögliche Ausweichflughäfen weit entfernt sein können. In der Praxis werden diese Flugrouten unter Berücksichtigung der Extended Diversion Time Operations (EDTO) Regularien geplant. Diese besagen, dass ein Ausweichflughafen in der in den EDTO Regularien festgeschriebenen Flugzeit erreicht werden muss, um die Flugroute fliegen zu können [37]. Da diese Regelungen für den Großteil der Flüge über Europa jedoch nicht zutreffend sind, werden diese bei der Planung des Fluges nicht berücksichtigt. Dennoch kann ein Flug über Gewässer, wie die Ostsee oder die Biskaya, zur Kritikalität der Situation beitragen.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wird für das zweite Szenario ein Flug von Marseille (Frankreich) nach Stavanger (Norwegen) abgebildet. Dieser bietet den Vorteil, dass ein Teil der Flugroute über der Nordsee verläuft. Weiterhin hat das Flugzeug beim Überfliegen der Nordsee bereits einen Großteil der Flugroute absolviert, sodass der Großteil des vorhandenen Treibstoffs verbraucht ist. Die geplante Flugroute, welche mithilfe des SimBrief Dispatch System [34] erstellt wurde, kann der Abbildung 3-5 entnommen werden. Ein Auftreten des Hydraulikfehlers auf Reiseflughöhe beim Überflug der Nordsee stellt folglich hohe Anforderungen an die Auswahl eines Ausweichflughafens und eignet sich daher für die Untersuchungen im zweiten Szenario.



Abbildung 3-5: Flugroute zum Szenario zwei (Quelle [34])

Hinsichtlich der Wetterlage wird für den Flug das in Europa vorherrschende Wetter vom 24.01.2024 angenommen. An diesem Tag lagen über Nordeuropa, wie bereits im ersten Szenario, hohe Bodenwinde vor. Die Großwetterlage für diesen Tag kann der Abbildung 3-6 entnommen werden. Die Bodenwinde erschweren die Landung am Zielflughafen zusätzlich. Die Wetterlagen an den einzelnen Flughäfen werden im Gegensatz zum ersten Szenario nicht manipuliert, um den Piloten eine ausreichend hohe Anzahl an Ausweichflughäfen anzubieten. Lediglich der Flughafen Amsterdam Schiphol wird für dieses Szenario aus der Datenbasis entfernt, da dieser mit einer hohen Anzahl an Landebahnen einen sehr gut geeigneten Ausweichflughafen darstellt. Die Piloten würden dementsprechend diesen nahegelegenen, gut ausgestatteten Flughafen für eine Landung in Betracht ziehen, ohne

weitere Optionen ernsthaft in Betracht zu ziehen. Für die Piloten wird dieser Flughafen unter der Annahme, dass dieser aufgrund einer Cyberattacke geschlossen ist, ausgeblendet.

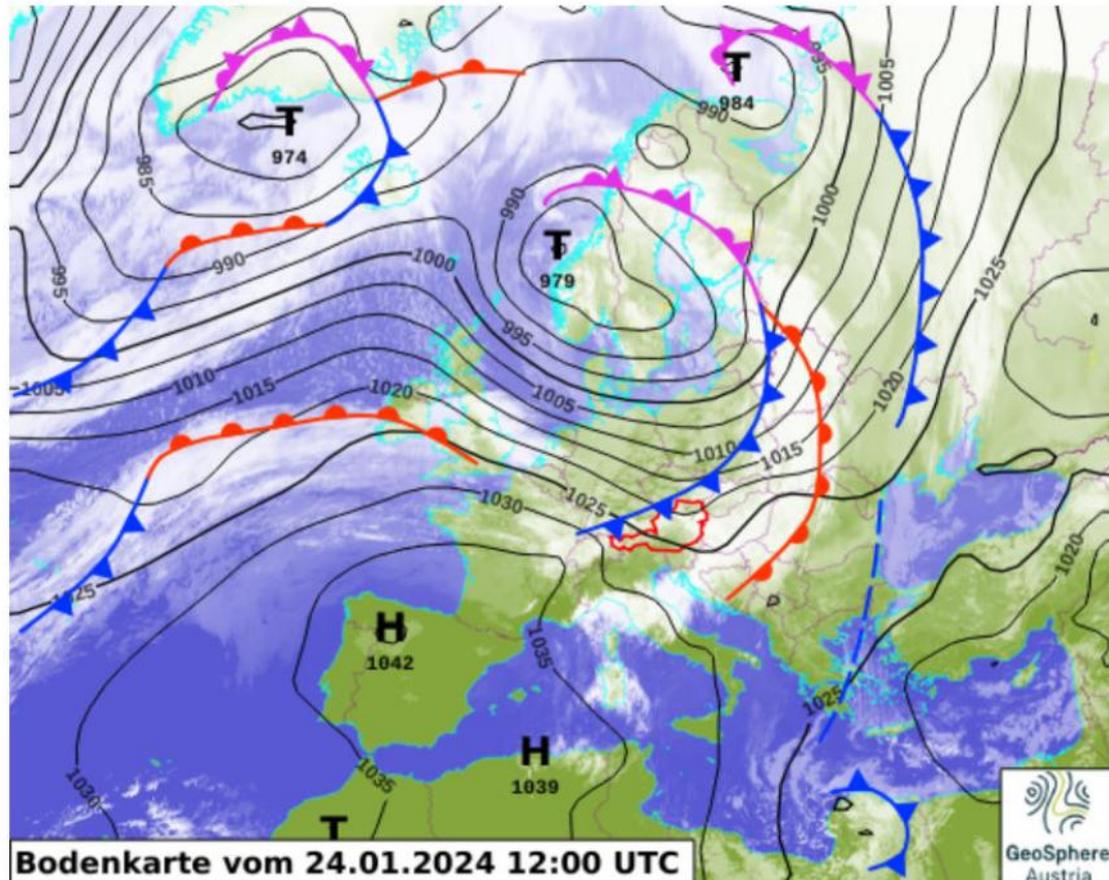


Abbildung 3-6: Großwetterlage zum Szenario zwei (Quelle [36])

Um dem in [21] beschriebenen Effekt der fehlenden Eingewöhnung mit dem Prototyp entgegenzuwirken, haben die Piloten die Möglichkeit vor dem Beginn der beiden Szenarien ein Beispielszenario zu bearbeiten. In diesem wird ein Flug von Basel (Schweiz) nach Bordeaux (Frankreich) abgebildet, in welchem eine Fehlfunktion der Störklappen auftritt. Die Flugroute, das vorliegende Wetter und der Systemfehler werden hierfür willkürlich gewählt, da dieses Szenario lediglich dem Verständnis des Prototyps dient. Dieses Szenario gibt den Piloten zudem die Möglichkeit Rückfragen zu stellen und die einzelnen Funktionen des Prototyps zu testen.

3.5. Besonderheiten zur Studie

Um den Fokus der Studie auf die Suche nach einem Ausweichflughafen zu richten, werden für die Bearbeitung der Szenarien unterschiedliche Felder des Prototyps ausgeblendet. Für alle Szenarien werden die Felder 1 und 3 ausgeblendet. Bei diesen handelt es sich um die Felder Scenario Settings und Preferences. Diese werden ausgeblendet, da durch eine Interaktion mit diesen Feldern eine mehrminütige Berechnung des Prototyps angestoßen wird, wodurch die Szenarioparameter verändert werden können. Die für die Berechnung benötigte Zeit

würde die Gesamtlänge der Studie unnötig erhöhen. Weiterhin ist die Änderung der Parameter im Feld Scenario Settings als kontraproduktiv zur Durchführung des geplanten Szenarios zu bewerten. Eine Änderung der Preferences kann zwar im Einzelfall die persönlichen Präferenzen des Piloten besser abbilden, jedoch stellt die Auswahl von Standardwerten (15% Sicherheitsfaktor für die Landeberechnung, Verwendung von Umkehrschub, etc.) ein etabliertes Mittelmaß zur Berechnung der relevanten Parameter dar.

In Kapitel 3.1 wurde erwähnt, dass insbesondere die Felder 5 (numerische Filterung) und 8 (Vergleichsansicht) von Interesse für die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie sind. Um gezielte Aussagen zu den einzelnen Funktionen zu erhalten, wird die Darstellung des Prototyps für die einzelnen Szenarien in dieser Hinsicht angepasst. Da das erste Szenario zur Untersuchung der numerischen Filterung dient, wird für dieses und das vorgeschaltete Beispielszenario das Feld 8 ausgeblendet. Das bietet zudem den Vorteil, dass die Piloten nicht durch eine Vielzahl an Informationen zu Beginn der Studie überfrachtet werden. Insbesondere die komplexe Verknüpfung des Feld 8 mit der Karte und den Infoboxen könnte zu Beginn der Studie zu Verwirrung führen. Somit wird im Szenario eins die Möglichkeit gegeben, eine Auswahl auf Basis der Felder 3-7 zu treffen. Für das zweite Szenario wird das Feld 8 nach vorgehender Erläuterung dessen Funktionsweise eingeblendet, sodass die Piloten im zweiten Szenario eine Auswahl auf Basis der Felder 3-8 treffen können. Das bietet den Vorteil, dass die Piloten die Vergleichsansicht als Erweiterung des Prototyps betrachten können, was dazu beiträgt, den Nutzen dieser Funktion im Hinblick auf die Unterstützung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens zu untersuchen.

4. Durchführung der Studie

Die Studie, welche als Live-Online-Termin durchgeführt wird, stellt hohe Anforderungen an die zu verwendende Software, da den Piloten die Möglichkeit gegeben werden soll, direkt mit dem Prototyp zu interagieren. Dieses Kapitel beleuchtet zu diesem Zweck die Umsetzung der Studie und geht ebenfalls auf die Vor- und Nachbereitung jedes Termins ein. Weiterhin gibt dieses Kapitel einen Überblick über die relevanten Daten der Studienteilnehmer.

4.1. Technische Umsetzung

Aus den Betrachtungen in Kapitel 3.2 geht hervor, dass die Studie als Live-Online-Termin durchgeführt wird. Diese Tatsache stellt hohe Anforderungen an die Umsetzungssoftware, die durch die üblichen Onlinekommunikationstools (Skype, Microsoft Teams, etc.) nicht abgedeckt werden können. Um den Piloten einen unbeschränkten, selbstständigen Test am vorliegenden Prototyp zu ermöglichen, müssen sie diesen in den Szenarien eigenständig nutzen können. Da dieser jedoch in der Softwareumgebung MATLAB umgesetzt ist, würden die Piloten zur eigenständigen Nutzung eine MATLAB Lizenz benötigen. Diese müsste jedoch im Vorhinein durch die Piloten erworben werden, was die direkte Nutzung des Prototyps durch die Piloten ausschließt. In der Folge wird eine technische Lösung benötigt, die es den Piloten ermöglicht, während des Live-Termins auf den Computer des Studienverantwortlichen zuzugreifen. Durch diesen Remotezugriff ist es den Piloten möglich, auf den Rechner des Studienverantwortlichen zuzugreifen und den auf diesem installierten Prototyp zu steuern. Zur Realisierung der Remotesteuerung wird das Konferenztool GoTo Meeting verwendet [38]. Dieses bietet, neben der Möglichkeit zur Remote Desktopsteuerung durch die Meetingteilnehmer, ebenfalls die Möglichkeit mit diesen zu kommunizieren. Die Kommunikation kann verbal oder mithilfe des Chats durchgeführt werden. Weiterhin werden die üblichen Möglichkeiten zum Teilen von Bildschirmhalten und Präsentieren abgebildet. Ein weiterer Vorteil von GoTo Meeting ist, dass es sich bei diesem um eine Webbasierte Anwendung handelt und die Studienteilnehmer folglich keine Anwendung auf ihren Rechnern installieren müssen. Lediglich der Chrome oder Edge Browser wird zur Teilnahme am Onlinemeeting benötigt. Zur Teilnahme am Meeting müssen die Piloten durch einen Einladungslink der Webkonferenz beitreten.

Um einen reibungslosen Ablauf der Studie zu gewährleisten, sind seitens der Teilnehmer einige Vorbereitungen zu treffen, die im Folgenden erläutert werden. Zunächst wird zur Teilnahme an der Webkonferenz ein Rechner mit einer stabilen Internetverbindung benötigt. Weiterhin benötigen die Teilnehmer einen Monitor mit einer Mindestbildschirmdiagonale von 22 Zoll. Diese ist notwendig, um jegliche Beschriftungen des Prototyps während der Studie erkennen zu können. Zur Kommunikation muss ein Mikrofon, sowie ein Lautsprecher vorhanden sein. Zuletzt benötigen die Piloten zur Interaktion mit dem Prototyp eine Tastatur und eine Maus, damit sie alle Funktionen des Prototyps nutzen können. Seitens des Studienverantwortlichen wird ebenfalls ein Rechner benötigt. Auf diesem muss zum einen die Anwendung GoTo Meeting, als auch die Software MATLAB installiert sein. Ebenfalls wird ein Kommunikationsmedium benötigt, das einen Lautsprecher und ein Mikrofon beinhaltet. Weiterhin benötigt der Studienverantwortliche einen möglichst großen Bildschirm mit hoher Auflösung, da beim Teilen des Bildschirms über GoTo Meeting der Bildschirm des Teilenden freigegeben wird. In der Folge würde sich eine mangelhafte Darstellung seitens des Studienverantwortlichen ebenfalls negativ auf die Darstellung der Teilnehmer auswirken. Zu diesem Zweck wird ein 27 Zoll Bildschirm mit einer Auflösung von 2560 x 1440 Pixel für die Studie

verwendet. Zudem benötigt der Studienverantwortliche ebenfalls eine stabile Internetverbindung sowie eine Tastatur und Maus zur Interaktion.

Um die Auswertung der Studie zu erleichtern, wird die Studie in Absprache mit den Teilnehmern aufgezeichnet. Hierfür wird die Anwendung OBS Studio [39] verwendet. Diese bietet die Möglichkeit, Bildschirminhalte und Töne aufzuzeichnen. Im Rahmen der Studie werden nach vorheriger Einwilligung durch die Teilnehmer der geteilte Bildschirm des Studienverantwortlichen sowie die gesamte Kommunikation aufgezeichnet. Zur Aufzeichnung wird ein separater Rechner verwendet, der sich im gleichen Raum wie der Studienverantwortliche befindet. Die Aufzeichnung musste auf einen zweiten Rechner ausgelagert werden, um die Rechenkapazität des Hauptrechners, mit dem das Meeting durchgeführt wird, nicht zu überschreiten. Der Aufzeichnungsrechner wählt sich zur Aufzeichnung wie die Teilnehmer in den Meetingraum ein und nimmt am Meeting als passiver Teilnehmer teil. Mithilfe von OBS Studio wird in der Folge das Onlinemeeting aufgezeichnet. Die Aufteilung der notwendigen Ressourcen ist in Abbildung 4-1 graphisch dargestellt.

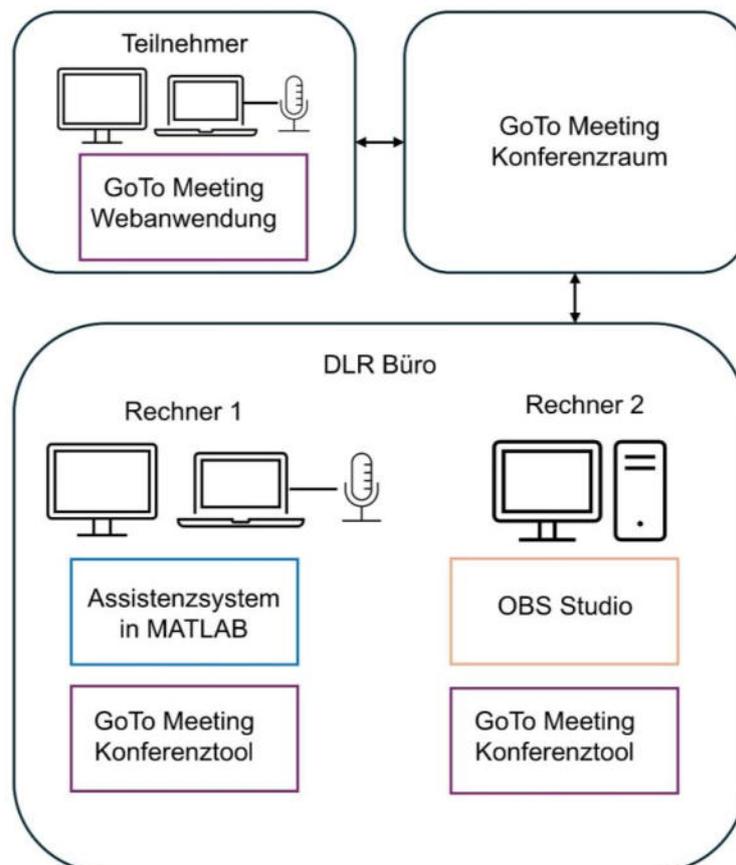


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

4.2. Teilnehmer

An der Studie haben insgesamt 14 Piloten verschiedener Airlines im Alter zwischen 25 und 70 Jahren teilgenommen. Die Teilnehmer waren durchweg männlich und in einer MPO Cockpit-Konfiguration tätig. Von den 14 Piloten füllten jeweils 13 den Vorabfragebogen und Abschlussfragebogen aus. Es handelt sich jedoch nicht um den gleichen Piloten, der Vorab- und Abschlussfragebogen nicht beantwortet hat. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer kann lediglich statistisch ermittelt werden, da im Vorabfragebogen keine konkrete Zahl, sondern die Zugehörigkeit zu einer Altersgruppe abgefragt wurde. Das Durchschnittsalter berechnet sich unter Berücksichtigung des Mittelwerts jeder Altersgruppe zu 48,7 Jahren. Die Verteilung der Altersgruppen kann der Abbildung 4-2 entnommen werden.

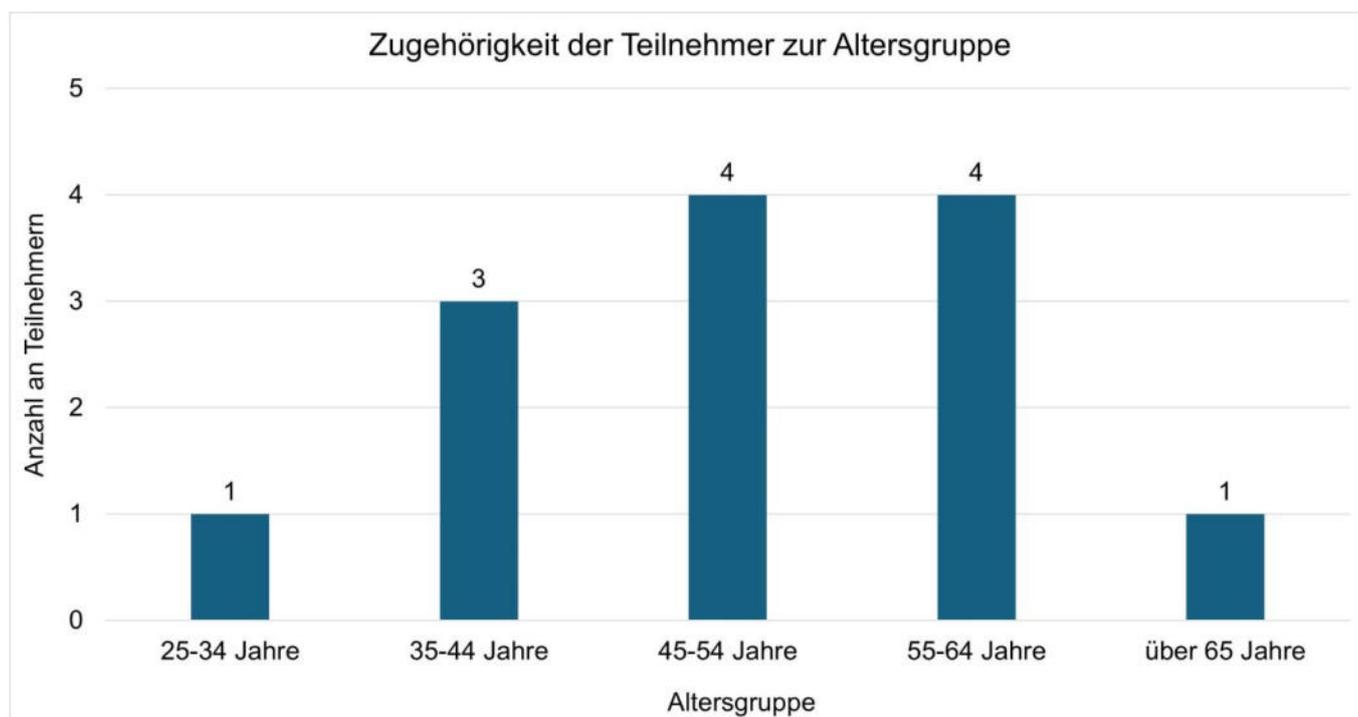


Abbildung 4-2: Altersgruppenverteilung der Teilnehmer

Da alle Piloten im entsprechenden Mailverteiler erfasst sind, wiesen sie zum Zeitpunkt der Aufnahme in den Mailverteiler eine gültige A320 Musterberechtigung auf. Da diese Erfassung jedoch einige Jahre zurück liegt, kann daraus nicht geschlossen werden, dass die Teilnehmer zum Zeitpunkt der Studie im Besitz einer gültigen Musterberechtigung für den A320 sind. Der Fakt, dass unter den Teilnehmern auch Piloten sind, die angegeben haben, dass sie überwiegend im Langstreckenbetrieb tätig sind, unterstützt diese Aussage. Konkret sind sechs der 13 Piloten auf Langstreckenflügen (>2000 NM) eingesetzt, während fünf Piloten im Kurzstreckenverkehr (<800 NM) arbeiten. Zwei der 13 Piloten gaben an, überwiegend für Mittelstreckenflüge (800-2000 NM) eingesetzt zu werden. Auch wenn zum Zeitpunkt der Studie für einige Piloten keine gültige Musterberechtigung für den A320 vorliegt, kann davon ausgegangen werden, dass jeder Teilnehmer der Studie über die Funktionsweise des A320 im Bilde ist. Mit Ausnahme eines Piloten sind alle Studienteilnehmer hauptsächlich im Linienflugbereich tätig. Lediglich ein Pilot ist hauptsächlich im Geschäftsflugverkehr tätig. Ebenso verhält es sich beim Transportgut. 12 der 13 Piloten haben

angegeben im Passagierflugverkehr tätig zu sein, während ein Pilot sowohl für die Beförderung von Luftfracht als auch den Passagierflugverkehr tätig ist.

Im Besitz der ATPL Fluglizenz sind die Teilnehmer durchschnittlich seit 25 Jahren und haben während dieser Zeit im Durchschnitt 15600 Flugstunden absolviert. Der Besitzzeitraum der ATPL Lizenz variiert von 6,5 bis 41 Jahren, wobei der Großteil der Piloten die Lizenz seit 17 bis 34 Jahren besitzt. Ähnlich verhält es sich für die Anzahl an absolvierten Flugstunden, die eine Spanne von 3000 bis 31500 Flugstunden aufweisen. Der Großteil der Piloten weist hierfür eine Anzahl zwischen 9000 und 23000 Flugstunden auf. Die Verteilung dieser beiden Kennzahlen können den Boxplots in Abbildung 4-3 entnommen werden.

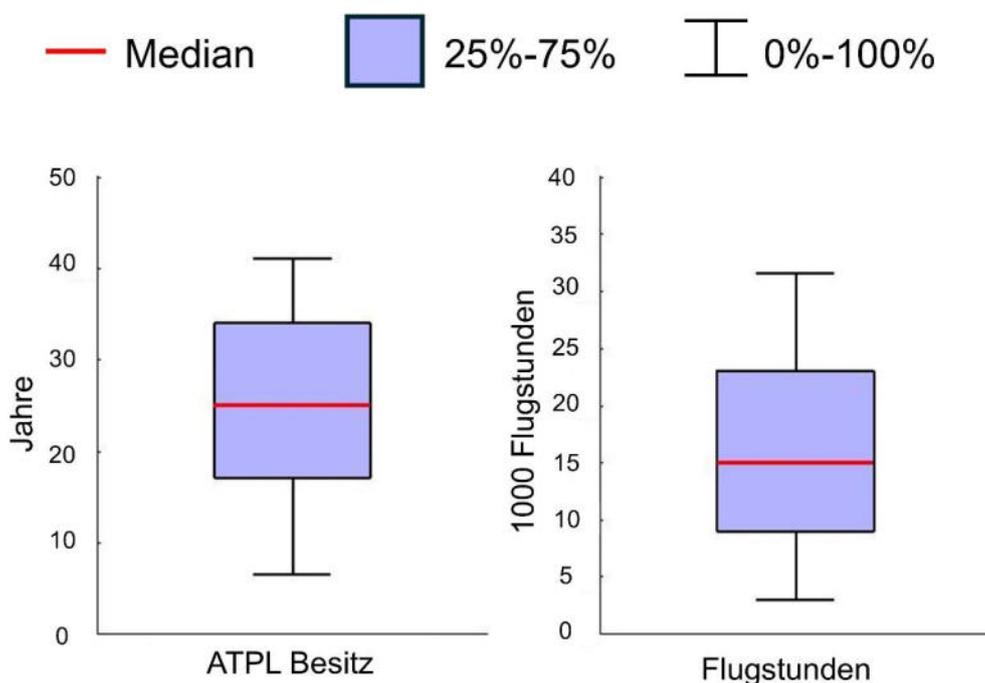


Abbildung 4-3: Boxplots zur Verteilung des Lizenzbesitz und der absolvierten Flugstunden

Die Dienstgradverteilung der Piloten beläuft sich auf zehn Kapitäne und drei Senior First Officer. Bei dieser Qualifikation handelt es sich um eine Qualifikation, die den Senior First Officer im Reiseflug dazu berechtigt, den Kapitän abzulösen [40]. Insbesondere für Langstreckenflüge ist dieser Dienstgrad von Bedeutung.

Zusätzlich zur Erfahrung in Flugstunden gaben 9 der 13 Piloten an weitere Zusatzqualifikationen aufzuweisen. Hierzu zählen Ausbildertätigkeiten als Flight Instructor, Instrument Rating Instructor, Synthetic Flight Instructor oder Type Rating Instructor sowie Tätigkeiten als Testpilot, Performance Engineer oder Berater für Human Factors in der Luftfahrt. Zudem gaben 5 der 13 Piloten an, bereits an Studien vom DLR teilgenommen zu haben.

4.3. Ablauf

Insgesamt haben 14 Piloten an der Studie teilgenommen, wobei jede Studie nach dem gleichen Schema abgelaufen ist. Zunächst wurde eine Mail mit grundlegenden Informationen zur Studie und den benötigten technischen Geräten an alle im Mailverteiler erfassten Piloten versendet. Diese diente dazu, die generelle Teilnahmebereitschaft an der Studie zu erfragen, um im nächsten Schritt einen Termin für die Studie auszumachen. Im darauffolgenden Schritt wurde mit den Piloten, die eine positive Rückmeldung auf diese Abfrage gegeben haben, ein Termin vereinbart, welcher eine geplante Zeitspanne von 90 Minuten umfasste und im Studienzeitraum lag. Dieser Studienzeitraum betrug insgesamt sechs Wochen. Zur Vorbereitung auf die Studie erhielten die Piloten einige Tage vor dem Live-Termin eine Mail, die Informationen zur Funktionsweise des Prototyps sowie zum exakten Ablauf der Studie beinhaltete. In dieser wurden die einzelnen Funktionen des Prototyps, sowie die Interaktionsmöglichkeiten erläutert, sodass die Piloten einen ersten Eindruck des für sie unbekanntes Prototyps erlangen konnten. Weiterhin enthielt diese Mail den Link und den entsprechenden Zugangscodes zum Vorabfragebogen, den die Piloten bis zum Live-Termin ausfüllen sollten.

Zum geplanten Live-Termin haben sich die Piloten in die Webkonferenz eingewählt und wurden nach einer kurzen Begrüßung nach ihrem Einverständnis zur Aufzeichnung des Online-Meetings befragt. Der Aufzeichnung der Studie haben alle 14 Teilnehmer zugestimmt. Um den stets identischen Ablauf der Studie zur besseren Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde diese mithilfe eines Leitfadens durchgeführt.

Zur Einführung in den Prototyp wurde dieser zu Beginn der Studie vorgestellt. Diese Erläuterung verfolgte das Ziel, den Piloten die Interaktionsmöglichkeiten des Prototyps aufzuzeigen, da die in der Mail zur Verfügung gestellten Informationen die Dynamik des Prototyps nicht abbilden konnten. Im Anschluss wurde die Steuerung an die Piloten übergeben, sodass diese die aufgezeigten Interaktionen und Funktionen eigenständig testen konnten. Im Rahmen dieses Tests haben die Piloten das Beispielszenario bearbeitet. Nachdem die Piloten die Funktionsweise des Prototyps verstanden hatten, wurden sie ins erste Szenario und die entsprechenden Gegebenheiten eingeführt. Weiterhin wurde darauf hingewiesen, das Vorgehen zur Bearbeitung der Szenarien nach der Think-Aloud-Methode zu kommentieren. Bei dieser kommentieren die Piloten ihre Gedankengänge zur Bearbeitung der Szenarien, sodass die Aktionen der Piloten besser nachvollzogen werden können [41]. Insbesondere zur Nachbereitung der Studie in Kombination mit der Aufzeichnung bietet die Think-Aloud-Methode einen Vorteil. Zudem wurden die Piloten im Sinne der Vergleichbarkeit gebeten, auf eventuelle Unterstützungsmöglichkeiten, beispielsweise in Form eines EFB, zu verzichten. Anschließend wurde das erste Szenario bearbeitet. Im Anschluss an das erste Szenario folgte eine weitere Erklärung. Hierbei wurde die Funktionsweise der Vergleichsansicht erläutert, welche für das erste Szenario ausgeblendet war. Die zur Erläuterung benötigte Zeit wurde genutzt, um im Hintergrund die Berechnung des zweiten Szenarios durchzuführen. Diese konnte erst im Anschluss an das erste Szenario erfolgen, da der verwendete Rechner nicht über ausreichend Rechenkapazität verfügte, um beide Szenarien gleichzeitig zur Verfügung zu stellen. Weiterhin hatten die Piloten die Möglichkeit, zwischen den Szenarien eine kurze Pause einzulegen. Im Anschluss wurden die Piloten, wie bereits in Szenario eins, in die Gegebenheiten des zweiten Szenarios eingeführt. Zudem wurde die Funktionsweise der Vergleichsansicht und dessen Bedienung im Prototyp kurz erläutert. In der Folge bearbeiteten die Piloten, erneut unter Verwendung der Think-Aloud-Methode, das zweite Szenario. Im Anschluss an das zweite Szenario folgte ein Feedbackgespräch, in dem im lockeren Austausch die Szenarien und der Prototyp im Allgemeinen diskutiert wurden. Der zeitliche Ablauf der Studie ist in Tabelle 4-1 aufgezeigt.

Tabelle 4-1: Zeitplanung für die Onlinestudie

| Ereignis | Geplante Zeit [min] |
|---|---------------------|
| Begrüßung und Einführung | 5 |
| Aufnahmestart (optional) | - |
| Erläuterung des Prototyps | 10 |
| Übergabe der Steuerung an Piloten inkl. Funktionstest | 1 |
| Bearbeitung des Beispielszenarios | 5-10 |
| Einführung in Szenario 1 | 5 |
| Bearbeitung des Szenarios 1 | 10-30 |
| Freies Feedback zum Szenario 1 und Pause (optional) | 5-10 |
| Erläuterung der Vergleichsansicht | 5 |
| Einführung in das Szenario 2 | 5 |
| Bearbeitung des Szenarios 2 | 10-30 |
| Feedback zum Szenario 2 und Diskussion | 5-10 |
| Verabschiedung | 5 |
| Ende der Aufnahme (optional) | - |

Im Anschluss an den Live-Termin wurde den Piloten eine Mail zugesandt, welche den Link und den Zugangscode zum Abschlussfragebogen enthielt. Dieser wurde von 13 Piloten beantwortet und markierte für die teilnehmenden Piloten das Ende der Studie.

5. Auswertung der Studie

Dieses Kapitel befasst sich mit der Auswertung der Studie. Hierfür werden im Unterkapitel Anmerkungen bestimmte Aspekte betrachtet, die bei der Auswertung der Studie zu berücksichtigen sind. Anschließend werden die Funktionen Feld für Feld ausgewertet. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um im Sinne der Forschungsfrage die Erweiterungen für jede Funktion des Prototyps aufzuzeigen. Weiterhin werden die Aussagen der Piloten zu den einzelnen Funktionen im Hinblick auf die aufgestellten Thesen betrachtet.

5.1. Anmerkungen

Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass die geringe Anzahl von 14 Teilnehmern einen Zweifel an der Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis aufkommen lässt. Vor diesem Hintergrund können die Ergebnisse zwar als Tendenzen, jedoch nicht als allgemeingültige Aussagen interpretiert werden. Weiterhin muss die Durchführung der Studie als Onlinemeeting bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden, da dieses die in Kapitel 3.2 aufgeführten Kommunikationseinschränkungen aufweist. Zudem muss betont werden, dass die Teilnehmer aus eigenem Interesse an der Studie teilgenommen haben, woraus sich eine generelle Aufgeschlossenheit gegenüber der Erforschung neuartiger Systeme ableiten lässt. Weiterhin muss angemerkt werden, dass die Anzahl an Teilnehmern, welche den Dienstgrad Kapitän aufwiesen, überdurchschnittlich hoch war. Dies gilt ebenso für die Anzahl an Piloten, die eine Zusatzqualifikation besaßen. Die Umgebung, in der die Studie stattgefunden hat, muss ebenfalls berücksichtigt werden, da die technische Umsetzung der Studie das übliche Arbeitsumfeld der Piloten nicht abbilden konnte. Die Durchführung am PC im heimischen Umfeld kann nicht mit dem Arbeitsplatz im Cockpit verglichen werden. Unter diesem Aspekt muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass sich die Piloten im Rahmen der Studie ausschließlich auf die Suche nach Ausweichflughafens beschränkt haben und die diversen Aufgaben und Einflüsse einer realen Cockpitumgebung in der Studie nicht abgebildet wurden.

Im Hinblick auf die aufgestellte These bezüglich des Bewertungsunterschieds zwischen Kurz- und Langstreckenpiloten muss erwähnt werden, dass die nahezu gleiche Anzahl an Lang- und Kurzstreckenpiloten vorteilhaft für die Beantwortung dieser These ist, da für beide Gruppen in etwa gleich viele Teilnehmer vorliegen. Die Aussagen der Mittelstreckenpiloten können für diese These jedoch nicht berücksichtigt werden, da diese mit lediglich zwei Piloten eine zu kleine Gruppe darstellen, um valide Aussagen treffen zu können.

Für die Bewertung in Abhängigkeit der Altersgruppe muss angemerkt werden, dass das Durchschnittsalter mit 48,7 Jahren relativ hoch ist und somit die Altersgruppe unter 45 Jahren nicht im gleichen Maße repräsentativ ist, wie die Altersgruppe über 45 Jahren. Weiterhin muss für die Auswertung berücksichtigt werden, dass an der Studie zwar 14 Piloten teilgenommen haben, jedoch lediglich 13 Piloten die Fragebögen ausgefüllt haben. Somit gibt es eine Differenz von einem Teilnehmer zwischen den Daten, die sich aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Live-Meetings ergeben und den Daten aus den Fragebögen.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass auf das Feld Aircraft Status im Rahmen der Auswertung nicht näher eingegangen wird, da zu diesem lediglich eine geringe Anzahl an Rückmeldungen vorliegt. Das kann darin begründet werden, dass diese Funktion eine Anzeige abbildet, ohne dass die Möglichkeit besteht, mit dieser zu interagieren. Zudem muss der Unterschied in der Betrachtung der qualitativen Aussagen aus dem Onlinemeeting und der

Erfassung der quantitativen Daten aus dem Fragebogen erwähnt werden. Die qualitative Analyse enthält ausschließlich die Aussagen der Piloten, die die entsprechenden Aspekte im Onlinemeeting angemerkt haben. Daraus kann nicht geschlossen werden, dass die Piloten, die diese nicht erwähnt haben, diesen ebenfalls zustimmen oder widersprechen.

Anders verhält es sich mit den im Fragebogen erfassten Aussagen. In diesem hat jeder Pilot seine Bewertung zu vorgegebenen Aussagen getätigt. Die umfangreichen Ergebnisse der Auswertung des Abschlussfragebogens können den Anhängen 3-6 entnommen werden. Für ausgewählte Aspekte des Fragebogens werden die Ergebnisse ebenfalls in den Tabellen des entsprechenden Unterkapitels dargestellt.

Zum Verständnis der quantitativen Auswertungen muss zudem die Kodierung der Antwortmöglichkeiten beachtet werden, welche im Folgenden nochmals aufgeführt ist.

- Stimme zu = 2
- Stimme eher zu = 1
- Keine Antwort = 0
- Stimme eher nicht zu = -1
- Stimme nicht zu = -2

5.2. Filter Settings

Im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse, welche insbesondere zur Identifikation von sinnvollen Funktionserweiterungen herangezogen wird, haben die Piloten diverse Aspekte im Bezug auf die auswählbaren Filter und die Filterung im Allgemeinen angemerkt. 10 der 14 Piloten merkten einen Verbesserungsbedarf bei der Auswahl des verfügbaren Anflugverfahrens an. Diese sind im Prototyp in Form der Filterung nach ILS CAT III, ILS CAT II, ILS CAT I und anderweitigen Instrumentenanflügen umgesetzt. Diese Umsetzung ist nach Meinung der Piloten verbesserungswürdig, da zu viele Auswahlmöglichkeiten angeboten werden. Die Ausstattung eines Flughafens mit einem ILS CAT III Landesystem impliziert die Landesysteme ILS CAT II und ILS CAT I. Vor diesem Hintergrund ist es bei der Wahl eines ILS CAT III Anflugs, nach Auffassung der befragten Piloten, nicht notwendig weitere ILS Anflüge auswählen zu können. Ein Pilot brachte in dieser Hinsicht die Möglichkeit eines Dropdown Menüs an, in welchem die Piloten den für sie niedrigsten tolerierbaren ILS Anflug auswählen können.

13 der 14 Piloten haben zudem angemerkt, dass die Filtermöglichkeit des Airline Airports die operativen Belange der Airline nicht ausreichend abdeckt. Dieser Filter müsste nach Ansicht der Piloten um diverse Eigenschaften erweitert werden. In der aktuellen Ausführung werden unter den Airline Airports lediglich Flughäfen aufgeführt, die von der Airline angefliegen werden. In der Folge werden auch Flughäfen angezeigt, die selten von der Airline angefliegen werden und somit für die Wahl eines Ausweichflughafens in zeitunkritischen Szenarien von geringer Relevanz sind. Bei der Nutzung dieses Filterkriteriums wird die vorhandene Infrastruktur des Flughafens nicht berücksichtigt. In diesem Punkt ist für die Piloten insbesondere die Ausstattung des Flughafens hinsichtlich der airlinespezifischen Wartungsmöglichkeiten sowie den Möglichkeiten zur medizinischen Versorgung von Relevanz. Weiterhin ist das Vorhandensein von Infrastruktur zur Bodenabfertigung des Flugzeugs für die Piloten von Interesse.

Ein weiteres Kriterium, das durch die Filterung nicht abgebildet wird, ist laut 9 von 14 Piloten, die Möglichkeit zur Filterung nach mindestens zwei unabhängigen Landebahnen. Dieses Filterkriterium wird nach den Aussagen der

Piloten benötigt, um bei der Auswahl eines Ausweichflughafens die Möglichkeit der Schließung einer Landebahn zu berücksichtigen. Sollte die Nutzung der vorgesehenen Landebahn nicht möglich sein, besteht so die Möglichkeit, auf eine andere Bahn des Flughafens auszuweichen. Dieser Fall kann eintreten, falls es dem vorhergehenden Flugzeug nicht möglich ist, die Bahn nach der Landung eigenständig zu verlassen oder die Landebahn geräumt werden muss. Einige Piloten führten an, dass dieses Filterkriterium beispielsweise durch die Implementierung eines Runwaydiagramms in die Infoboxen abgedeckt werden könnte.

11 der 14 Piloten wiesen darauf hin, dass eine Filterung des Globalwindes ebenfalls eine sinnvolle Erweiterung darstellt. Das bereits implementierte Filterkriterium Head Wind only filtert zwar nach Flughäfen, die einen Wind von vorne aufweisen, jedoch fehlt nach Auffassung der Piloten die Möglichkeit, nach der Windstärke filtern zu können. So zeigte der Prototyp in den durchgeführten Szenarien Flughäfen an, die Windgeschwindigkeiten von bis zu 35 Knoten von vorne aufwiesen, was den Anflug auf diese Flughäfen erschwerte.

Acht Piloten führten weiterhin den Bedarf einer Filterung nach den Wettergegebenheiten, beziehungsweise der Runway Condition, an. Zwar sind diese in den Infoboxen berücksichtigt, jedoch könnte eine Filterung nach der geringsten tolerierbaren Runway Condition die Auswahlmöglichkeit zur Runway Condition in den Infoboxen ersetzen. Weiterhin gaben einige Piloten an, nach der Wolkenuntergrenze filtern zu wollen. Anzumerken ist, dass zwei Piloten diesem Aspekt explizit widersprochen haben, da diese die Umsetzung mithilfe von Auswahlkästen zur Runway Condition in der Infobox für besser geeignet halten. Weiterhin hat einer dieser beiden Piloten angemerkt, dass durch die Berücksichtigung der Runway Condition in der Stoppmarge dieses Kriterium ausreichend abgedeckt ist.

Im Bezug auf eine Filtermöglichkeit zur Landebahnbreite, welche in den Szenarien insbesondere durch die eingeschränkte laterale Steuerung von Relevanz war, gaben lediglich zwei Piloten an, nach dieser Filtern zu wollen. Im Gegensatz dazu widersprachen fünf Piloten einer solchen Filterung mit der Begründung, dass die Abmessungen der Landebahnen der Infobox entnommen werden können und dass der Großteil der Landebahnen in Europa eine Bahnbreite von mindestens 45 Metern aufweist, was nach Auffassung der Piloten ausreichend ist.

Fünf Piloten gaben zudem an, dass die Einschränkung der Seitenwindrichtung von Interesse sein kann, wobei diese Rückmeldung auf die Einschränkung der Seitenwindrichtung im ersten Szenario zurückzuführen ist. Daher kann diese Rückmeldung als fehlerspezifische Rückmeldung interpretiert werden, was die Allgemeingültigkeit dieser Aussage infrage stellt.

Fünf Piloten gaben außerdem an, dass sie die Anzeige, der unter Anwendung der Filterkriterien verbleibenden Flughäfen, als verwirrend empfunden haben. Diese Aussage lässt sich auf die Anzeige der verbleibenden Bahnen und Flughäfen im Feld Filter Settings und in der Histogrammdarstellung beziehen. Die Trennung durch den Bindestrich wurde von den Piloten teilweise als verbleibende Flughäfen von der Gesamtanzahl an Flughäfen fehlinterpretiert. Die Rückfrage, ob es den Piloten ausreichen würde, lediglich die unter Anwendung der Filterkriterien verbleibenden Flughäfen, ohne Berücksichtigung der verfügbaren Bahnen anzuzeigen, wurde jedoch lediglich von einem Piloten positiv beantwortet.

Ein Aspekt, der zwar im Feld Filter Settings nicht erfasst ist, aber dennoch auch der Thematik der Filterung zugeordnet werden kann, sind die Top 5 Flughäfen aus dem Ranking. Zu diesen merkten neun Piloten an, dass sie ihre Anforderungen lediglich bedingt widerspiegeln. Zwar können die Kriterien, an denen die Top 5 Flughäfen bemessen werden, mithilfe von [3] belegt werden, allerdings merkten diese neun Piloten einen Anpassungsbedarf bei der Gewichtung an. Im Prototyp gehen die Kriterien Stop Margin, Crosswind, Distance, EFOB on arrival und

Gewittervorhersage zu jeweils einem Fünftel in die Berechnung des Rankings ein. Je nach vorliegendem Abnormal rücken jedoch unterschiedliche Kriterien für die Piloten in den Vordergrund, sodass eine Gewichtung nach Auffassung dieser Piloten sinnvoll sein kann. Ein weiterer Aspekt zu dieser Thematik, welcher von den neun Piloten angeführt wurde, ist, dass für einige Kriterien Ober- und Untergrenzen festgelegt werden sollten, sodass diese nicht überproportional in die Berechnung der Top 5 Flughäfen eingehen. Konkret bedeutet dies, dass für das Kriterium Stop Margin laut der Piloten ein oberer Grenzwert von etwa 1000 Metern als ausreichend eingeschätzt wurde. Flughäfen, die eine noch höhere Stop Margin aufweisen, würden nach dem aktuellen Berechnungsprinzip einen höheren Rankingplatz erreichen, was nach Auffassung der neun Piloten nicht gerechtfertigt ist. Ebenso verhält es sich für die Kriterien Crosswind und EFOB on arrival. Für den Crosswind gaben die Piloten an, dass dieser ab einer Windstärke von unter fünf Knoten als gleichwertig zu betrachten ist. Bei der EFOB on arrival gaben die Piloten zudem an, dass diese ebenfalls ab einer Restflugzeit von 1,5 Stunden als gleichwertig zu betrachten ist. Die angegebenen Zahlenwerte basieren hierbei lediglich auf den Aussagen einzelner Piloten und können nicht als allgemeingültig interpretiert werden. Aufgrund der Gewichtung von einem Fünftel und den nicht vorhandenen Grenzwerten, können im Prototyp Flughäfen, die sehr hohe Stoppmargen und sehr geringe Seitenwinde aufweisen, einen hohen Rankingplatz erreichen. Dieser kann höher sein als der eines Flughafens, der zwar eine geringere Distanz, jedoch nicht so hohe Stoppmargen bei gleichem Seitenwind aufweist. Selbst wenn die Stoppmarge und der Seitenwind eine sichere Landung ermöglichen und der Flughafen somit aus Sicht der Piloten aufgrund der geringeren Distanz besser geeignet ist, wird dieser nicht als Top 5 Flughafen angezeigt. Anders formuliert könnte somit ein „schlechter“ Flughafen durch sehr hohe Stoppmargen einen, nach Auffassung der Piloten, ungerechtfertigt hohen Rankingplatz erreichen.

Tabelle 5-1: Ergebnisse zur Funktion Filter Settings

| Funktion | Alle | | Langstrecke | | Kurzstrecke | | Alter >45 | | Alter <45 | |
|----------------------------|------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Filter Settings Szenario 1 | 1,4 | 0,8 | 1,8 | 0,4 | 1 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,7 | 0,5 |
| Filter Settings Szenario 2 | 1,4 | 0,8 | 2 | 0 | 0,8 | 1 | 1,3 | 0,9 | 1,7 | 0,5 |

Mithilfe der Fragebögen können quantitative Daten zur Betrachtung der Thesen abgeleitet werden. Die Ergebnisse können der Tabelle 5-1 entnommen werden. Für die Funktion Filter Settings wurde im Fragebogen abgefragt, inwiefern den Piloten diese Funktion bei der Entscheidungsfindung für die jeweiligen Szenarien geholfen hat. Hierbei wurde die Funktion in beiden Szenarien mit einem Durchschnittswert von 1,4 bewertet, was mithilfe der Kodierung mit der Antwort „hat mir eher geholfen“ verknüpft werden kann. Die Standardabweichung beträgt in beiden Szenarien 0,8 und damit rund eine Antwortstufe. Die Bewertung der Filter Settings Funktion ist im Allgemeinen für beide Szenarien im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung identisch. Dies wird deutlich, da sowohl beide Altersgruppen als auch Flugroutenarten die Funktion über beide Szenarien hinweg nahezu identisch (Abweichung zwischen Kurz- und Langstreckenpiloten um lediglich 0,2 Punkte) beantwortet haben. Aus diesem Grund lässt sich insgesamt im Bezug auf diese Funktion kein Unterschied zwischen den Szenarien feststellen.

Allerdings kann innerhalb der Szenarien ein Unterschied zwischen den Altersgruppen und Flugroutenarten festgestellt werden. So haben die Langstreckenpiloten die Funktion im ersten Szenario im Mittel mit 1,8 (SD=0,4)

und im zweiten Szenario mit 2 Punkten (SD=0) bewertet, was der Antwortmöglichkeit „hat mir geholfen“ entspricht. Demgegenüber haben Kurzstreckenpiloten die Unterstützung der Funktion im Mittel lediglich mit 1 (SD= 1,1) im ersten Szenario und 0,8 (SD=1) im zweiten Szenario bewertet, was der Antwortmöglichkeit „hat mir eher geholfen“ entspricht. Daraus ergibt sich eine Differenz in der Bewertung zwischen Lang- und Kurzstreckenpiloten um einen Punkt.

Eine Differenz ergibt sich auch bei der Betrachtung der Bewertung der Altersgruppen unter 45 Jahren und über 45 Jahren. Diese beträgt für beide Szenarien jeweils 0,4 Punkte. Die Altersgruppe über 45 Jahre hat die Unterstützung im Durchschnitt mit 1,3 (SD= 0,9) bewertet, während die Altersgruppe unter 45 Jahre die Unterstützung durchschnittlich mit 1,7 (SD=0,5) bewertet hat.

Zusammenfassend kann die Unterstützung dieser Funktion im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung als eher hilfreich beschrieben werden, wobei signifikante Unterschiede in der Bewertung der betrachteten Flugroutenarten und Altersgruppen zu verzeichnen sind. Abbildung 5-1 verdeutlicht diesen Sachverhalt graphisch.

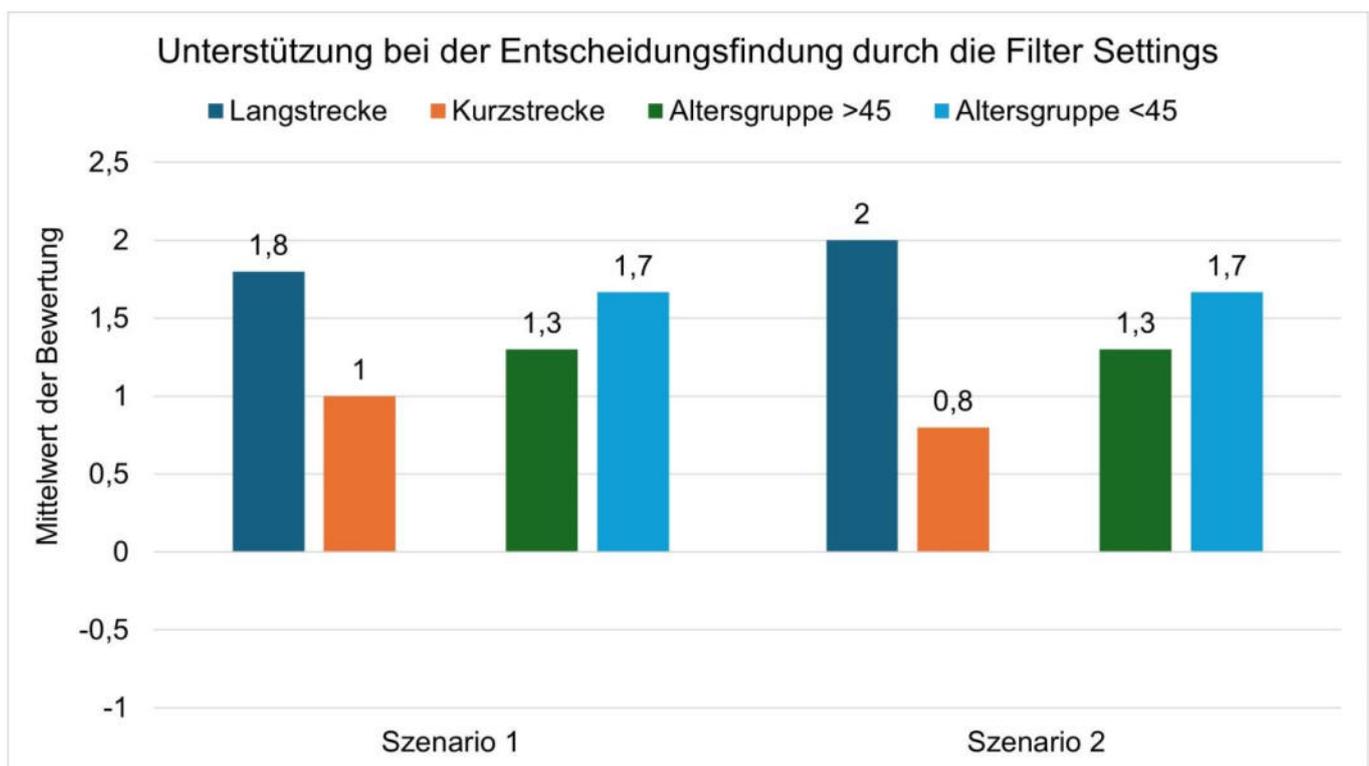


Abbildung 5-1: Visualisierung der Bewertungen zur Funktion Filter Settings

5.3. Numerische Filterung

Unter Berücksichtigung der qualitativen Inhaltsanalyse, lassen sich für diese Funktion kaum Gemeinsamkeiten feststellen. Die Piloten haben zwar unterschiedliche Aspekte angemerkt, jedoch können aus diesen kaum sinnvolle Erweiterungen der Funktion abgeleitet werden. Lediglich zwei Piloten merkten während der Studie an, dass ihnen die Bedeutung der Ordinate in der Histogrammdarstellung unklar war. Diese führten an, dass ihnen die Anzeige der Bahnen, die die eingegebenen Kriterien erfüllen, weniger helfen würde als die Anzeige der entsprechenden Flughäfen.

Die Betrachtung des Fragebogens gibt ebenfalls wenig Aufschluss über eine mögliche Erweiterung dieser Funktion, da unter Zuhilfenahme der Kodierung der Mittelwert der aufgeführten Aussagen stets um 0 schwankt. Dieses Ergebnis ist mit der Aussage „Keine Antwort/Neutral“ zu verknüpfen. Zudem lassen sich aus der Betrachtung des Fragebogens keine validen Erkenntnisse zur Betrachtung der Thesen bezüglich Altersgruppe und Flugroutenart ableiten. Es liegen in den berechneten Mittelwerten zwar Differenzen zwischen den Altersgruppen und Flugroutenarten vor, jedoch weist jede Gruppe in sich selbst so hohe Standardabweichungen auf, dass keine validen Aussagen abgeleitet werden können. Die Standardabweichung weist für die Langstreckenpiloten über alle Aussagen zu dieser Funktion hinweg einen Mittelwert von 1 auf, während die Kurzstreckenpiloten eine gemittelte Standardabweichung über alle Aussagen hinweg von 1,2 aufweisen. Für die Altersgruppe über 45 Jahren nimmt diese einen Durchschnittswert von 1,4 an. Lediglich die gemittelte Standardabweichung der Aussagen der Altersgruppe unter 45 Jahren weist mit 0,8 einen Wert kleiner 1 auf.

Eine Aussage, die sich treffen lässt, ist, dass die Langstreckenpiloten eine Verknüpfung des Flughafens in der Infobox mit den Histogrammen für sinnvoller halten als Kurzstreckenpiloten. Diese bewerteten diese Aussage im Mittel mit 1,6 Punkten (SD=0,5) während Kurzstreckenpiloten diese Aussage im Mittel mit 0,2 Punkten (SD=1) bewerteten. Ein Unterschied zwischen den Altersgruppen, kann bei der Beantwortung der Aussage, ob die Darstellung der Histogramme als hilfreich empfunden wurde, identifiziert werden. Die Altersgruppe unter 45 Jahren stimmte dieser mit einem Mittelwert von 2 Punkten (SD=0) zu, während die Altersgruppe über 45 Jahren mit einem Mittelwert von -0,2 Punkten (SD=1,7) dieser Aussage weder zu noch entgegen stimmte. Die Standardabweichung ist bei dieser Gruppe zwar hoch, dennoch weist die Differenz der Mittelwerte von 2,2 Punkten auf einen Unterschied bei der Bewertung zwischen den Altersgruppen im Hinblick auf diese Aussage hin.

Tabelle 5-2: Ergebnisse zur numerischen Filterung

| Funktion | Alle | | Langstrecke | | Kurzstrecke | | Alter >45 | | Alter <45 | |
|---------------------------------|------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----------|----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Numerische Filterung Szenario 1 | 0,9 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,6 | 1,6 | 2 | 0 |
| Numerische Filterung Szenario 2 | 0,7 | 1,5 | 2 | 0 | 0,8 | 1 | 0,3 | 1,6 | 2 | 0 |

Die Frage, ob die Funktion den Piloten im Allgemeinen bei ihrer Entscheidungsfindung geholfen hat, beantworteten die Piloten im ersten Szenario im Mittel mit 0,9 Punkten (SD=1,5) und im zweiten Szenario mit 0,7 Punkten (SD=1,5). Die Zahlenwerte zur Unterstützung im Hinblick auf die Entscheidungsfindung können der Tabelle 5-2 entnommen werden. Die Funktion wird folglich im Mittel als eher hilfreich interpretiert, schneidet allerdings aufgrund des

geringeren Mittelwerts schlechter als die Funktion Filter Settings ab. Zudem wurde die Funktion im zweiten Szenario als weniger hilfreich bewertet als im ersten Szenario. Die Standardabweichung ist mit 1,5 ebenfalls als sehr hoch einzuordnen, was erneut zeigt, wie unterschiedlich diese Funktion von Piloten aufgefasst wird. Dies spiegelt sich ebenfalls in der Betrachtung der unterschiedlichen Flugroutenarten wider. Hierbei ist auffällig, dass Langstreckenpiloten die Funktion besser bewerteten als Kurzstreckenpiloten. Im Durchschnitt bewerteten die Langstreckenpiloten die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung dieser Funktion in beiden Szenarien mit 1,4 (SD= 1,2), also als hilfreich. Kurzstreckenpiloten hingegen bewerteten die Unterstützung mit lediglich 1,2 (SD=1,2) im ersten Szenario und 0,6 (SD=1,4) im zweiten Szenario.

Noch ausgeprägter ist der Unterschied bei den Altersgruppen. Die Altersgruppe unter 45 Jahren bewertete die Unterstützung der Funktion bei der Entscheidungsfindung über beide Szenarien hinweg als hilfreich (2 Punkte) bei einer Standardabweichung von 0. Im Gegensatz dazu bewertete die Altersgruppe über 45 Jahren diese Funktion im ersten Szenario mit 0,6 (SD=1,6) und im zweiten Szenario mit 0,3 (SD=1,6), also als neutral bis eher hilfreich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Bewertungen der Piloten zu dieser Funktion, nur wenige allgemeingültige Aussagen ableiten lassen. Die Piloten haben bei der Beantwortung der im Fragebogen erfassten Aussagen keine erkennbare einstimmige Meinung abgegeben. Lediglich für die Betrachtung der allgemeinen Unterstützung bei der Entscheidungsfindung lassen sich klare Aussagen ableiten, welche in Abbildung 5-2 aufgezeigt sind.

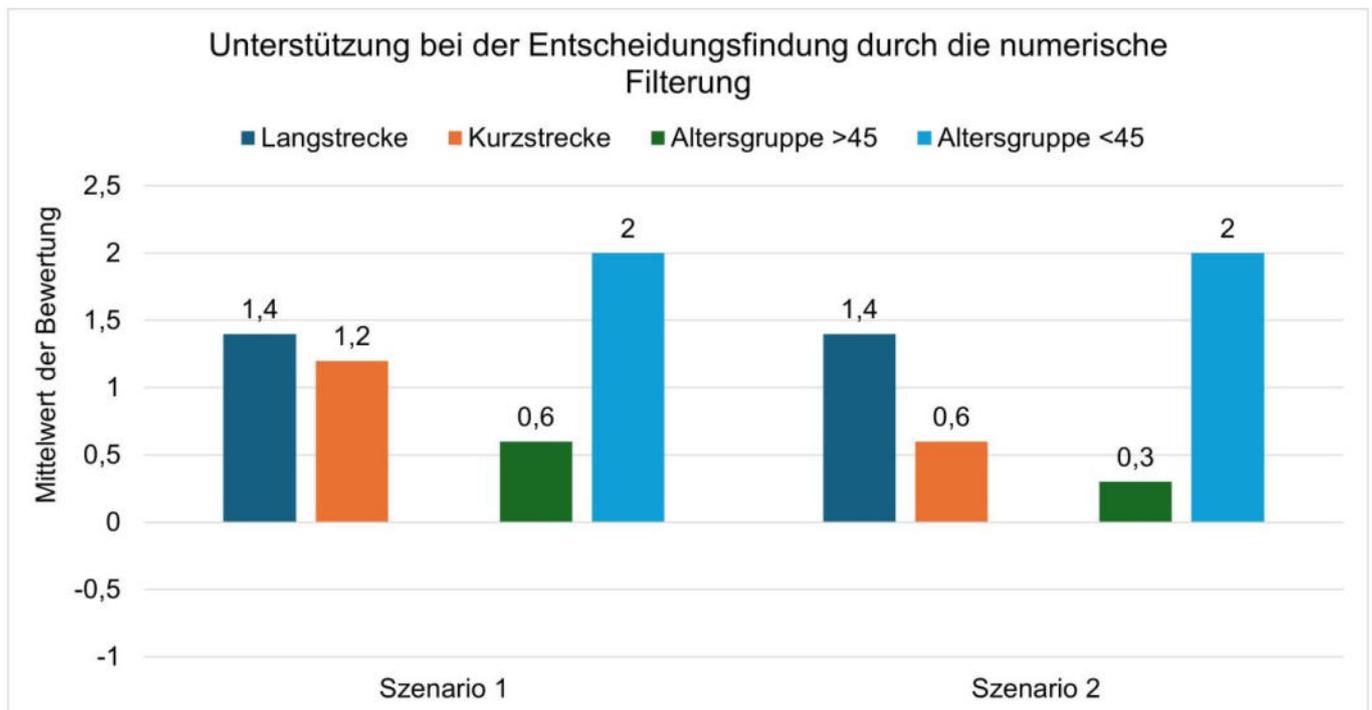


Abbildung 5-2: Visualisierung der Bewertungen zur numerischen Filterung

5.4. Map und Overlays

Im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse des Onlinemeetings können mehrere Erkenntnisse zur Erweiterung dieser Funktion abgeleitet werden. 10 der 14 Piloten gaben an, dass die farbliche Hervorhebung des Start- und Zielflughafens eine sinnvolle Erweiterung dieser Funktion wäre, um diese schneller auf der Karte identifizieren zu können. Einige Piloten führten zudem an, dass diese Hervorhebung auch auf den Heimatflughafen der Airline angewandt werden sollte. Weiterhin gaben 12 der 14 Piloten an, dass sie es für sinnvoll halten, die geplante Flugroute des Fluges in die Karte zu integrieren, sodass die angezeigten Ausweichflughäfen besser im Bezug auf die aktuelle Flugroute betrachtet werden können. Weiterhin gaben 10 der 14 Piloten an, dass zur Identifikation der Flughäfen auf der Karte, welche lediglich durch ein Kästchen dargestellt werden, eine Kennzeichnung notwendig wäre. Bei der Frage, inwiefern diese Identifikation umgesetzt werden kann, waren die Piloten unterschiedlicher Meinung. Da es bereits airlinespezifische EFB gibt, die die Möglichkeit abbilden, die in der Karte gekennzeichneten Flughäfen durch die Interaktion des Schwebens mit der Maus oder mit dem Finger zu identifizieren, führten einige dieser Piloten diese Interaktionsmöglichkeit auch zur Kennzeichnung der Flughäfen im Prototyp an. Andere wiederum sprachen sich für eine permanente Kennzeichnung der Flughäfen mithilfe des International Air Transport Association (IATA) Codes aus. Ein Pilot meldete zudem zurück, dass lediglich die Kennzeichnung der Top 5 Flughäfen für ihn von Relevanz wäre. Auf die Frage, ob eine Suchfunktion, mit der Flughäfen durch Eingabe des Ortes oder des IATA-Codes identifiziert und aufgerufen werden können, eine sinnvolle Erweiterung darstellt, gab es unterschiedliche Rückmeldungen. Fünf Piloten sprachen sich für eine Implementierung einer Suchfunktion aus, während drei Piloten diese explizit negierten. Diese drei Piloten führten an, dass sie keine Suchfunktion benötigen, da sie, bevor sie die Karte analysieren, in der Filterung ihre Kriterien festlegen, nach denen sie filtern möchten. In der Folge zeigt die Karte alle Flughäfen an, die der Filterung entsprechen. Durch das Suchen nach ausgefilterten Flughäfen mit einer Suchfunktion, würde man nach Auffassung dieser Piloten, die vorher gesetzten Filter infrage stellen, was ihrem Verständnis des Prototyps widersprechen würde. Allerdings muss an dieser Stelle angeführt werden, dass sich eine Suchfunktion dazu eignen kann, bei einer großen Anzahl an Flughäfen, die der Filterung entsprechen, einen spezifischen Flughafen aufzurufen. So könnten beispielsweise Flughäfen leichter aufgerufen werden, in deren Umgebung sich weitere Flughäfen befinden, welche die Auswahl dieses Kartenpunktes auf der Karte erschweren. Hierfür können die drei Flughäfen in Paris (Charles de Gaulle, Le Bourget, Paris Orly) als Beispiel angeführt werden. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Beantwortung der Frage nach der Implementierung einer Suchfunktion im Abschlussfragebogen. Dieser stimmten die Piloten mit einem Durchschnittswert von 1,2 (SD=1,2) eher zu. Ein prägnanter Unterschied zwischen Lang- und Kurzstreckenpiloten lässt sich hierbei nicht erfassen, da die Differenz der Mittelwerte zu dieser Aussage zwischen den Kurz- und Langstreckenpiloten lediglich 0,2 Punkte beträgt. Ähnlich verhält es sich mit dem Unterschied zwischen den Altersgruppen, welcher im Mittel ebenfalls lediglich 0,2 Punkte beträgt.

2 der 14 Piloten führten weiterhin an, dass ihnen die Einblendung von Ländergrenzen in der Karte ebenfalls dabei helfen würde, die Flughäfen auf der Karte identifizieren zu können. Weitere zwei sind der Meinung, dass die graphische Hervorhebung von großen Flughäfen und Heimatflughäfen von Partnerairlines ebenfalls eine sinnvolle Erweiterung wäre, wobei sie den Begriff des großen Flughafens nicht näher definiert haben. Ein Pilot führte außerdem an, dass die Einblendung der aktiven Filterkriterien in der oberen, linken Ecke der Karte eine sinnvolle Erweiterung der Karte wäre.

Vier Piloten betonten, dass eine Unterlegung der Top 5 Flughäfen eine sinnvolle Erweiterung darstellen könnte. Drei dieser Piloten gaben an, dass sie diese durch eine Unterlegung der Top 5 Flughäfen mit den konkreten Rankingplätzen besser einordnen könnten. Ein Pilot brachte den Gedanken zur farblichen Unterteilung der bestplatzierten Flughäfen im Ranking an. So schlug dieser vor, die Flughäfen mit den Rankingplätzen eins bis fünf grün und die Flughäfen mit den Rankingplätzen 6-10 gelb zu markieren.

Hinsichtlich der Overlays haben sich 5 der 14 Piloten dafür ausgesprochen, die Topografie zu Berücksichtigen und in die Karte einzubinden, was ebenfalls als Overlay umgesetzt werden könnte. Weiterhin sprachen vier Piloten an, dass eine Distanzanzeige von der aktuellen Position des Flugzeugs in Form von Kreisen eine sinnvolle Erweiterung darstellen würde. In der Fachsprache werden diese auch als Range Kreise bezeichnet. Vier Piloten gaben zudem an, dass dem Prototyp die Einblendungsmöglichkeit einer Großwetterlage fehlt. Die Exclusion Criteria haben 5 der 14 Piloten angesprochen. Drei Piloten waren hierbei der Meinung, dass diese keinen Mehrwert für den Prototyp bieten würden. Dementgegen betonten zwei Piloten, dass diese insbesondere für zeitkritische Fehler von Interesse sind, da in diesen auch Flughäfen in betracht gezogen werden müssen, die eine zu kurze Landebahn oder zu starken Seitenwind aufweisen. Zwei Piloten stellten zudem fest, dass ein Overlay, welches kontaminierte Start- und Landebahnen, beispielsweise durch Wasser oder Schnee, anzeigt, ebenfalls eine sinnvolle Erweiterung darstellen würde. Ein Pilot hatte zudem die Idee das Overlay Filter Out mit unterschiedlichen Symbolen zu versehen, um bei Auswahl des Overlays erkennen zu können, welches Kriterium den entsprechenden Flughafen ausgefiltert hat.

Tabelle 5-3: Ergebnisse zu den Map Overlays

| Funktion | Alle | | Langstrecke | | Kurzstrecke | | Alter >45 | | Alter <45 | |
|-------------------------|------|-----|-------------|-----|-------------|----|-----------|-----|-----------|-----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Map Overlays Szenario 1 | 0,4 | 1,2 | 0,4 | 1,2 | 0,2 | 1 | 0,6 | 1,1 | -0,3 | 1 |
| Map Overlays Szenario 2 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,1 | -0,2 | 1 | 0,2 | 1,3 | 1,3 | 0,5 |

Aus der quantitativen Bewertung mithilfe der Fragebögen, welche der Tabelle 5-3 entnommen werden kann, ergibt sich für die Map Overlays (welche im Fragebogen isoliert erfasst wurden), dass die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung im Mittel mit 0,4 (SD=1,2) im ersten Szenario und mit 0,5 (SD=1,2) im zweiten Szenario bewertet wurde. Das kann mithilfe der Kodierung als „neutral“ im ersten Szenario und „eher hilfreich“ im zweiten Szenario interpretiert werden. Auch bei dieser Funktion ist die Standardabweichung mit 1,2 hoch, was erneut zeigt wie unterschiedlich die Bewertungen der Piloten ausfielen. Die Map Overlays sind in der Folge, im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung, weniger hilfreich als die die numerische Filterung und die Filter Settings. Im ersten Szenario lässt sich kein prägnanter Unterschied bei der Bewertung zwischen den Lang- und Kurzstreckenpiloten feststellen. Die Langstreckenpiloten bewerteten im Mittel mit 0,4 Punkten, während die Kurzstreckenpiloten im Mittel mit 0,2 Punkten bewerteten. Die Standardabweichung beträgt für die Langstreckenpiloten 1,2 und für die Kurzstreckenpiloten 1. Anzuführen ist, dass die Unterstützung der Map Overlays im zweiten Szenario von den Langstreckenpiloten mit 1 (SD=1,1) und von den Kurzstreckenpiloten mit -0,2 (SD=1) bewertet wurde. Ein Unterschied ist ebenfalls bei der Bewertung der unterschiedlichen Altersgruppen zu verzeichnen. Die Altersgruppe unter 45 Jahren bewertete die Unterstützung der Map Overlays bei der Entscheidungsfindung im ersten Szenario mit 0,6 (SD=1,1) und im zweiten Szenario mit 0,2 (SD=1,3), während die

Altersgruppe unter 45 Jahren die Map Overlays im ersten Szenario mit -0,3 (SD=1) und im zweiten Szenario mit 1,3 (SD= 0,5) bewerteten. Abbildung 5-3 veranschaulicht diese Ergebnisse graphisch.

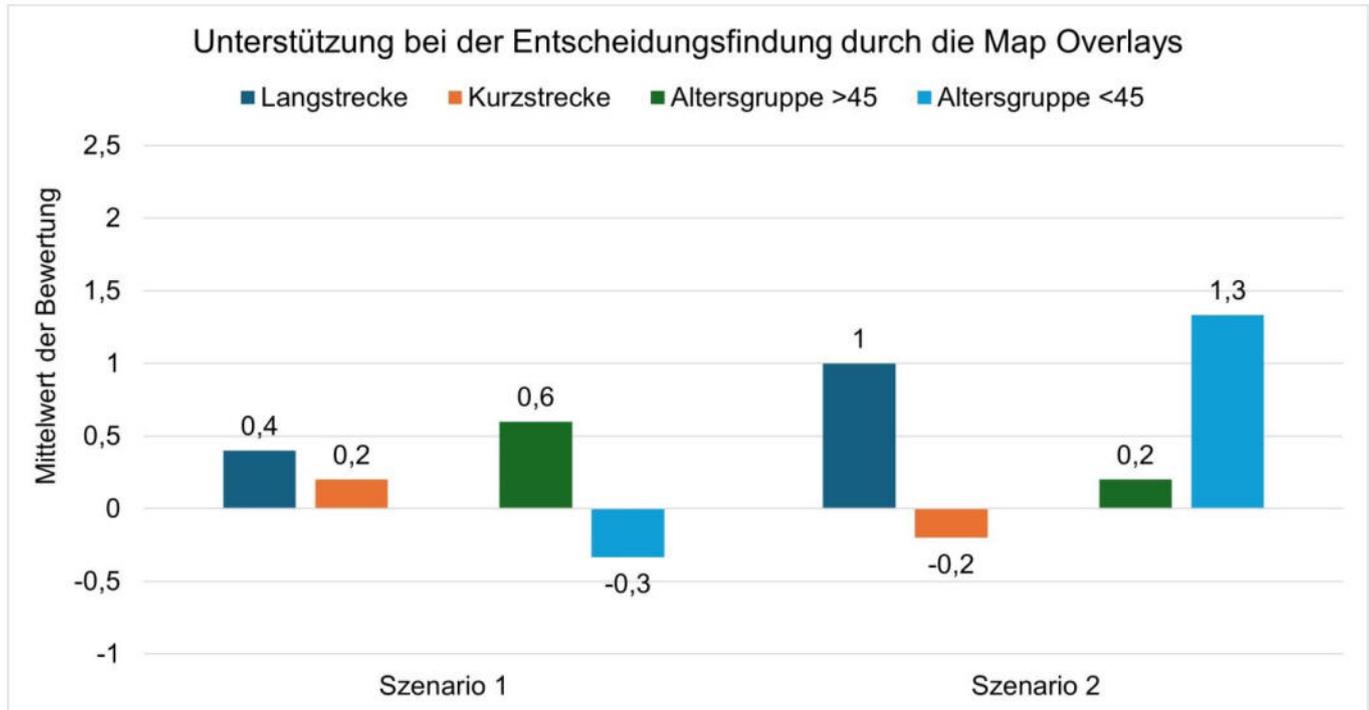


Abbildung 5-3: Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Map Overlays

5.5. Infoboxen

Die Auswertung der Aussagen zu den Infoboxen nach der qualitativen Inhaltsanalyse hat ergeben, dass für 8 der 14 Piloten, die Einbindung einer ATIS (Automatic Terminal Information Service) in die Infoboxen, eine sinnvolle Erweiterung dieser Funktion darstellt. Bei der ATIS handelt es sich um eine automatische Informationsdurchsage, welche unter anderem Informationen zu den aktuellen Wetterbedingungen sowie zum Betriebsstatus der aktiven Start- und Landebahnen beinhaltet [42]. Zudem bietet die Implementierung einer ATIS den Vorteil, dass die Landebahnbeschaffenheit (Runway CC) direkt aus dieser entnommen werden kann. Ein Pilot gab dennoch an, dass die Implementierung einer ATIS nicht notwendig sei, da die TAF Daten das Wettergeschehen ausreichend abbilden. 7 der 14 Piloten gaben weiterhin an, dass eine Verknüpfung der Infoboxen mit der Filterung sinnvoll wäre, um schneller erkennen zu können, weshalb ein Flughafen ausgefiltert wurde. Diese Verknüpfung könnte nach Auffassung der Piloten farblich gestaltet werden, wodurch die Kriterien, die den Flughafen ausgefiltert haben, in der Infobox hervorgehoben werden. Auch in diesem Punkt sprach sich ein Pilot gegen eine farbliche Verknüpfung der Filterung mit der Infobox aus, da diese zu Verwirrung führen könnte. 3 der 14 Piloten sprachen eine weitere farbliche Hervorhebung von möglichen Gefährdungen (engl. Threats) an. Bei dieser handelt es sich um eine Erweiterung, die bereits in einem airlinespezifischen EFB umgesetzt ist. In diesem werden Seiten- und Gegenwinde ab einem gewissen Wert standardmäßig farblich hervorgehoben, um auf eine mögliche Gefährdung durch starke

Winde hinzuweisen. Vier Piloten führten zudem an, dass die Einblendung der konkret benötigten Landestrecke als Zahlenwert eine sinnvolle Erweiterung darstellt. Zwei Piloten betonten zudem, dass eine Visualisierung der vorhandenen Bahnen des Flughafens sowie eine Visualisierung der vorherrschenden Windrichtung mithilfe eines Runwaydiagramms und einem Windpfeil, eine sinnvolle Erweiterung darstellt. Diese müsste nach Auffassung der Piloten stets im gleichen Maßstab erfasst sein, sodass ein Vergleich mit einem anderen Flughafen möglich ist.

Die Frage nach der Implementierung einer graphischen Visualisierung der Windrichtung und -stärke ist ebenfalls im Fragebogen abgebildet und kann mit quantitativen Daten unterlegt werden. Diese wurde von den Piloten im Mittel mit 0,6 Punkten beantwortet. Die Standardabweichung ist für diese Frage mit 1,1 zu beziffern. Es ergibt sich ein Unterschied in der Beantwortung dieser Frage zwischen Kurz- und Langstreckenpiloten. Die Langstreckenpiloten stimmten der Implementierung dieser Visualisierung im Mittel mit 1,2 Punkten ($SD=1,2$) eher zu, während die Kurzstreckenpiloten diese mit durchschnittlich 0,2 Punkten ($SD=1$) neutral bewerteten. Weniger prägnant ist der Bewertungsunterschied zwischen den Altersgruppen. Die Altersgruppe über 45 Jahren bewertete die Implementierung dieser Visualisierung im Mittel mit 0,5 Punkten ($SD=1$) und die Altersgruppe unter 45 Jahren im Durchschnitt mit 1 ($SD=1,4$).

Der Fragebogen thematisierte zudem die Möglichkeit, Detailinformationen zu den verfügbaren Bahnen des Flughafens einzuholen. Hierfür wurde abgefragt, ob die Piloten Informationen zu allen verfügbaren Bahnen, allen für die Landung infrage kommenden Bahnen oder lediglich zur am besten geeigneten Bahn benötigen. Diese Frage zielte darauf ab, die Darstellungen in der Infobox auf das notwendige Minimum zu reduzieren, sodass eine Ablenkung der Piloten durch zu viele Informationen vermieden wird. Die Aussage, dass es ausreichend ist, Detailinformationen zur am besten geeigneten Bahn zu erhalten, fand unter den 13 Piloten mit einem Durchschnittswert von -0,4 Punkten ($SD=1,3$) wenig Zustimmung. Ein deutlicher Unterschied zwischen Kurz- und Langstreckenpiloten lässt sich nicht ausmachen, da die Langstreckenpiloten diese Aussage im Mittel mit -0,4 ($SD=1,6$) bewerteten, während die Kurzstreckenpiloten diese mit -0,8 ($SD=1$) bewerteten. Die hohe Standardabweichung der Langstreckenpiloten gründet in der widersprüchlichen Aussage eines Langstreckenpiloten, der sowohl der Aussage, dass er Informationen über alle verfügbaren Bahnen des Flughafens benötigt sowie der Aussage, dass es ausreichend ist, Informationen zur bestgeeigneten Bahn zu erhalten, zustimmte. Ein Unterschied bei der Bewertung dieser Aussage, lässt sich bei der Betrachtung der Altersgruppen feststellen. Während die Altersgruppe unter 45 Jahre diese mit durchschnittlich -1,3 Punkten ($SD=0,5$) bewertete, stimmte die Altersgruppe über 45 Jahre mit einem Mittelwert von -0,1 Punkten ($SD=1,4$) dieser Aussage weder zu noch entgegen. Folglich stimmte die Altersgruppe unter 45 Jahren dieser Aussage explizit nicht zu, während die Altersgruppe über 45 Jahren sich neutral äußerte.

Der Aussage, dass es ausreichend ist, Detailinformationen zu für eine Landung infrage kommenden Landebahnen zu erhalten, stimmten die Piloten mit einem Durchschnittswert von 0,6 Punkten ($SD=1,3$) eher zu. Für diese Aussage ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Flugroutenarten und Altersgruppen. Hervorzuheben ist dennoch, dass die Standardabweichung innerhalb der einzelnen Gruppen mit 1,3 Punkten oder höher prägnant ist, was darauf hinweist, dass innerhalb der betrachteten Gruppen Unterschiede bei der Bewertung dieser Aussage vorliegen.

Die Aussage, dass die Piloten Detailinformationen zu allen vorhandenen Bahnen des Flughafens benötigen, findet mit einem Durchschnittswert von 0,9 Punkten ($SD=1,3$) am meisten Zustimmung und ist anhand der Kodierung mit der Antwortmöglichkeit „stimme eher zu“ zu verknüpfen. In dieser Aussage ist ein prägnanter Unterschied zwischen

Kurz- und Langstreckenpiloten zu verzeichnen. Die Langstreckenpiloten bewerteten diese im Mittel mit 1,8 Punkten bei einer geringen Standardabweichung von 0,4. Die Kurzstreckenpiloten hingegen stimmten der Aussage mit durchschnittlich 0,6 Punkten (SD=1,4) zwar auch eher zu, jedoch nicht so ausgeprägt, wie die Langstreckenpiloten. Daraus kann gefolgert werden, dass die Langstreckenpiloten, im Gegensatz zu den Kurzstreckenpiloten, eindeutig der Aussage zustimmen, dass sie Detailinformationen zu allen Bahnen des Flughafens benötigen, auch wenn diese nicht für eine Landung infrage kommen. Anders verhält es sich bei der Betrachtung der unterschiedlichen Altersgruppen, zwischen welchen kein erwähnenswerter Unterschied bei der Bewertung dieser Aussage festgestellt werden kann.

Die durchweg hohen Standardabweichungen bei der Bewertung dieser Aussagen, mit Ausnahme der Langstreckenpiloten auf die Frage, ob sie Detailinformationen zu allen Bahnen des Flughafens benötigen, zeigen erneut, wie unterschiedlich die Piloten diese bewerteten. Zu keiner der drei Aussagen lässt sich aufgrund der hohen Standardabweichung ein allgemeingültiges, eindeutiges Ergebnis feststellen. Es lässt sich jedoch die Tendenz erkennen, dass die Piloten die Möglichkeit einer Reduktion zur Anzeige von Detailinformationen zur bestgeeigneten Bahn eher ablehnen. Im Gegensatz dazu findet der Fokus auf die Bahnen, die für eine Landung infrage kommen, durchaus Zuspruch. Dennoch erhält die Möglichkeit, Detailinformationen zu allen vorhandenen Bahnen einzuholen, die größte Zustimmung. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 5-4 graphisch aufgezeigt, in welcher die Aussagen aller Piloten berücksichtigt werden. Die Balken repräsentieren den jeweiligen Mittelwert, und die zugehörigen Fehlerindikatoren die Standardabweichung.

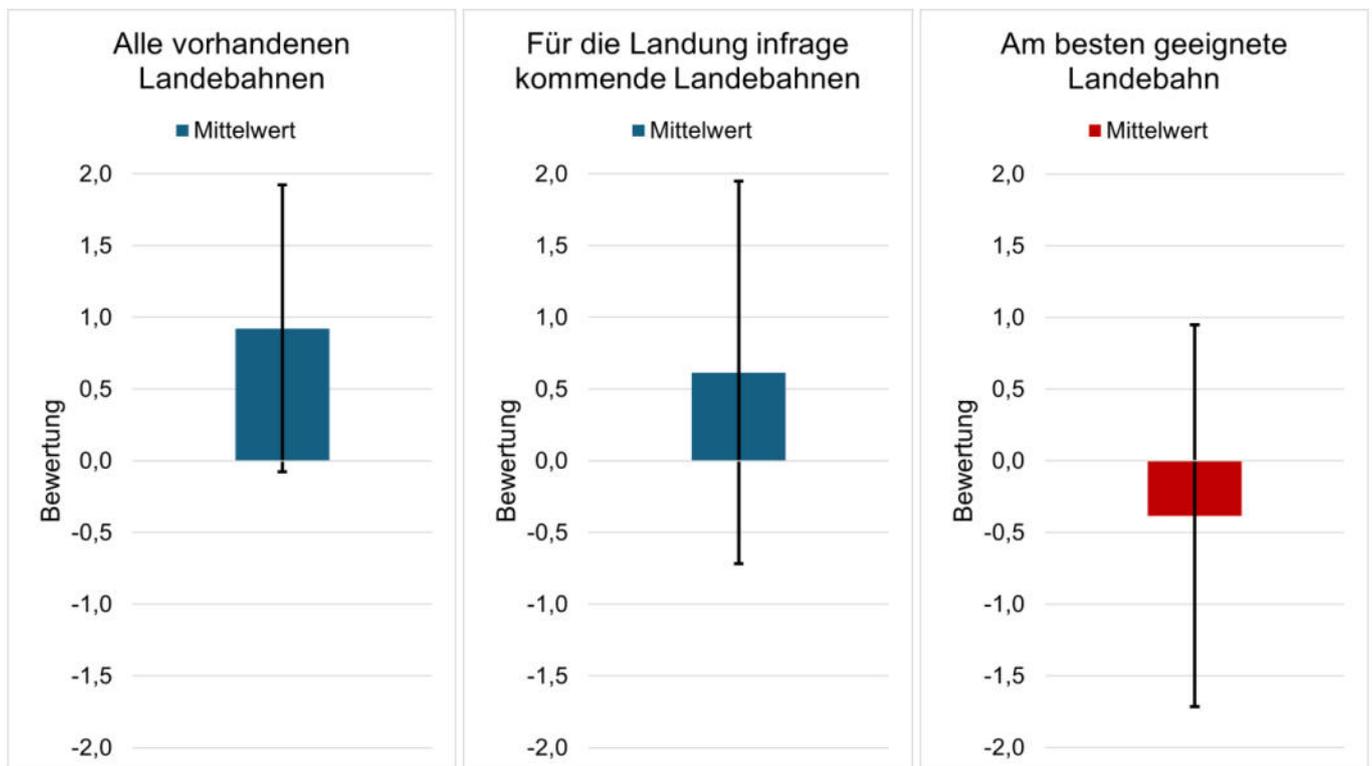


Abbildung 5-4: Visualisierung der Zustimmung zur Reduktion der Detailinformationen zu den Landebahnen in der Infobox

Tabelle 5-4: Ergebnisse zu den Infoboxen

| Funktion | Alle | | Langstrecke | | Kurzstrecke | | Alter >45 | | Alter <45 | |
|----------------------|------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Infoboxen Szenario 1 | 1,9 | 0,4 | 1,8 | 0,4 | 2 | 0 | 1,9 | 0,3 | 1,7 | 0,5 |
| Infoboxen Szenario 2 | 1,9 | 0,4 | 2 | 0 | 1,8 | 0,4 | 1,8 | 0,4 | 2 | 0 |

Die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Infoboxen, welche in Tabelle 5-4 erfasst ist, wurde über beide Szenarien hinweg sehr positiv bewertet. In beiden Szenarien wurde diese im Mittel mit 1,9 Punkten bei einer Standardabweichung von lediglich 0,4 bewertet, was sich mithilfe der Kodierung der Antwortmöglichkeit „hat mir geholfen“ zuordnen lässt. Weiterhin ergeben sich aus der Betrachtung der verschiedenen Flugroutenarten und Altersgruppen keine nennenswerten Unterschiede bei der Bewertung dieser Funktion. Dadurch können die Infoboxen als hilfreiche Funktion interpretiert werden und schneiden im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung besser ab als die zuvor erläuterten Funktionen. Weiterhin unterstreicht die geringe Standardabweichung ($SD < 0,5$) über alle Gruppen hinweg die Eindeutigkeit dieses Ergebnisses. Abbildung 5-5 verdeutlicht dieses Ergebnis graphisch.

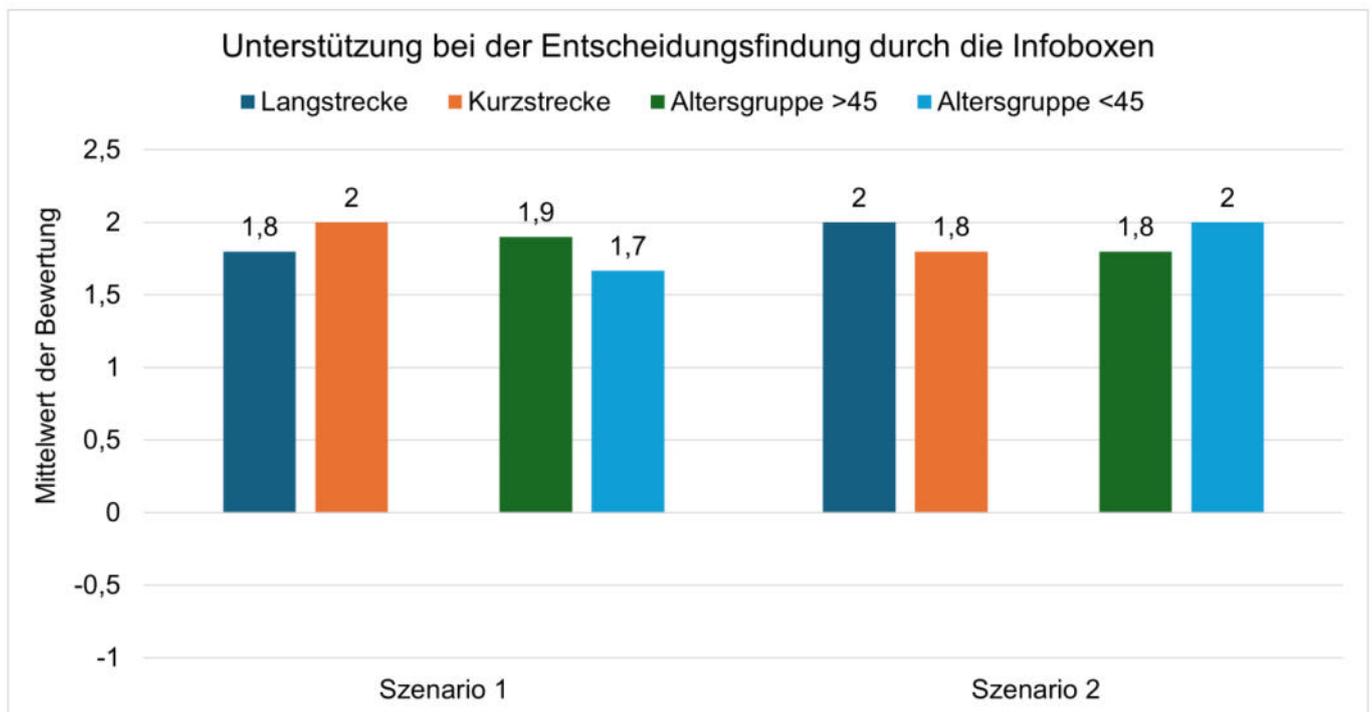


Abbildung 5-5: Visualisierung zur Unterstützung der Infoboxen bei der Entscheidungsfindung

5.6. Vergleichsansicht

Für die Vergleichsansicht, welche erst im zweiten Szenario zur Anwendung kam, ergibt die qualitative Inhaltsanalyse der Aussagen aus dem Onlinemeeting diverse Aspekte zur Erweiterung dieser Funktion. 4 der 14 Piloten gaben an, dass die Normierung mit dem höchsten Wert der jeweiligen Kategorie (Fuel Margin, Stop Margin, Distance, Crosswind) die Interpretation der Balken erschwert. Durch diese Normierung können nach Auffassung dieser Piloten, die Unterschiede zwischen den einzelnen Flughäfen der Vergleichsansicht nicht erkannt werden. Im Szenario war das insbesondere für die Distanz der Fall, da diese stets mit dem sehr weit entfernten Startflughafen (Marseille) normiert wurde. Dadurch wurde nach Auffassung dieser Piloten, die Erkennung der Distanzunterschiede zu den anderen Flughäfen der Vergleichsansicht erschwert. An diese Rückmeldung schließt sich die Aussage von einem weiteren Piloten an. Dieser führte an, dass ein Ausschließen von Flughäfen aus der Vergleichsansicht eine sinnvolle Erweiterung darstellen würde. Dadurch könnten Flughäfen, welche für eine Landung nicht mehr in Betracht gezogen werden sollen, ausgeschlossen und die Normierung der Balken somit aktualisiert werden. Einen weiteren Aspekt zur Interaktion mit dieser Funktion führten drei weitere Piloten an. Diese äußerten den Wunsch nach einer Verknüpfung der Funktionen, wodurch beispielsweise per Mausklick, der entsprechende Flughafen aus der Vergleichsansicht im Histogramm und in der Karte hervorgehoben wird. Drei Piloten betonten weiterhin, dass sie die Vergleichskriterien gerne selbst bestimmt hätten, da abhängig von der Situation unterschiedliche Kriterien in den Vordergrund rücken. Zudem war ein Pilot der Meinung, dass die Kriterien Fuel Margin und Distance, aufgrund ihrer Abhängigkeit voneinander, zusammengefasst werden können. Zu diesem Aspekt meldeten zwei Piloten zurück, dass die Betrachtung der Flugzeit einen höheren Mehrwert hat als die Betrachtung der Distanz. Zwei Piloten sprachen sich zudem für eine andere Art der Darstellung in Form einer Tabelle oder mithilfe von Pfeilen aus, da diese leichter zu interpretieren sind als eine Balkendarstellung. Dementgegen spricht die Aussage eines Piloten, welcher der Auffassung war, dass die Balkendarstellung die beste Darstellungsart zur Informationsgewinnung darstellt. Ein Pilot führte außerdem an, dass eine graphische Abtrennung der Flughäfen aus dem Flugplan und den Flughäfen des Rankings eine sinnvolle Erweiterung dieser Funktion darstellt.

Im Allgemeinen hat jedoch ein Großteil der Piloten zurückgemeldet, dass die Vergleichsansicht sehr komplex ist und die Bedienung sowie die Interpretation der Ergebnisse eine gewisse Routine erfordern. Diese Aussage lässt sich unter Zuhilfenahme der quantitativen Daten aus dem Abschlussfragebogen belegen, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

Die Analyse der Ergebnisse aus dem Fragebogen zu dieser Funktion wird durch die konstant hohen Standardabweichungen erschwert. Die Piloten waren in nur wenigen Aussagen einer eindeutigen Meinung. Dennoch können bestimmte Aussagen und Tendenzen abgeleitet werden.

Die Aussage, dass in der Vergleichsansicht zu wenige Flughäfen angezeigt werden, wurde von den Piloten im Mittel mit -1,2 Punkten bei einer Standardabweichung von 0,9 bewertet. Daraus kann geschlossen werden, dass eine höhere Anzahl an Flughäfen in der Vergleichsansicht nicht sinnvoll ist. Die Kurzstreckenpiloten drückten ihre Ablehnung zu dieser Aussage stärker aus als die Langstreckenpiloten. Die Kurzstreckenpiloten stimmten dieser im Mittel mit -1,8 Punkten (SD=0,4) nicht zu, während die Langstreckenpiloten dieser Aussage mit durchschnittlich -1 Punkten (SD=1,1) eher nicht zustimmten. Ein Unterschied ist ebenfalls bei der Bewertung durch die verschiedenen Altersgruppen zu erkennen. Die Altersgruppe über 45 Jahren bewertete diese mit durchschnittlich -1,4 Punkten (SD=0,7), während die Altersgruppe unter 45 Jahren diese im Mittel mit -0,7 Punkten (SD=1,2) bewertet hat.

Dieses Ergebnis spiegelt sich ebenfalls in der Betrachtung der Aussage, dass zu viele Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt werden, wider. Diese wurde im Mittel mit -0,5 Punkten (SD=1,4) bewertet, was der

Antwortmöglichkeit „stimme eher nicht zu“ entspricht. In dieser Aussage sind zudem keine prägnanten Unterschiede in der Bewertung durch die verschiedenen Flugroutenarten und Altersgruppen zu verzeichnen. Die Anzahl der in der Vergleichsansicht angezeigten Flughäfen entspricht, unter Berücksichtigung der beiden Aspekte, folglich den Vorstellungen der Piloten.

Der Aussage, dass die Anzeige der Vergleichsansicht in die Karte integriert und somit die Balkendiagramme der Flughäfen an den entsprechenden Punkten in der Karte angezeigt werden sollten, stimmten die Piloten mit einem Durchschnittswert von -0,5 Punkten (SD=1,2) eher nicht zu. Die Begründung hierfür lässt sich in der Aussage einzelner Piloten identifizieren, die Angaben, dass das die Karte überfrachten würde. Es lässt sich in der Beantwortung dieser Aussage ein Unterschied bei der Bewertung der Lang- und Kurzstreckenpiloten feststellen. Während die Langstreckenpiloten sich mit einem Durchschnittswert von 0 (SD=1,3) neutral zu dieser Aussage äußerten, lehnten die Kurzstreckenpiloten diese mit einem Mittelwert von -1,2 (SD=0,7) eher ab. Ebenso verhält es sich bei der Betrachtung der verschiedenen Altersgruppen. Die Altersgruppe über 45 Jahren stimmte der Aussage mit durchschnittlich -0,7 Punkten (SD=1,1) eher nicht zu, während die Altersgruppe über 45 Jahren sich mit einem Durchschnittswert von 0,3 Punkten (SD=0,9) neutral äußerte. Der Aussage eine visuelle Verknüpfung zwischen der Vergleichsansicht und dem Flughafen in der Karte zu implementieren, stimmten die Piloten jedoch mit einem Mittelwert von 1,1 Punkten (SD=0,7) eher zu. Diese könnte laut der Piloten beispielsweise durch einen Pfeil oder eine farbliche Hervorhebung realisiert werden. Ein Bewertungsunterschied zwischen den Flugroutenarten und den Altersgruppen lässt sich für diese Aussage nicht feststellen.

Die Aussage, dass den Piloten die Bedeutung der Richtungen und Farben der einzelnen Balken zu jeder Zeit klar war, bewerteten diese im Durchschnitt mit 0,2 Punkten. Die hohe Standardabweichung von 1,5 indiziert dabei, wie unterschiedlich diese Aussage bewertet wurde und zeigt, wie komplex die Interpretation der Vergleichsansicht ist. Die Langstreckenpiloten stimmten dieser Aussage mit durchschnittlich 0,6 Punkten (SD=1,4) eher zu, während die Kurzstrecken mit einem Durchschnittswert von -0,6 Punkten (SD=1,7) eher nicht zustimmten. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Langstreckenpiloten weniger Probleme bei der Interpretation der Vergleichsansicht hatten als die Kurzstreckenpiloten.

Die Aussage, ob die Vergleichsansicht auch im Szenario eins eingeblendet hätte werden sollen, wurde von den Piloten im Mittel mit -0,4 Punkten (SD=1,4) bewertet, wodurch der Nutzen dieser Funktion im Allgemeinen infrage gestellt werden kann. Langstreckenpiloten äußerten sich zu dieser Aussage mit einem Mittelwert von 0,4 Punkten (SD=1,2) neutral, während Kurzstreckenpiloten mit einem Mittelwert von -1,4 Punkten (SD=1,2) eher nicht zustimmten. Ein Unterschied zwischen den Mittelwerten der Altersgruppen lässt sich zwar feststellen, allerdings hat dieser aufgrund der hohen Standardabweichung von 1,7 bei der Altersgruppe unter 45 Jahren eine geringe Aussagekraft.

Tabelle 5-5: Ergebnisse zur Vergleichsansicht

| Funktion | Alle | | Langstrecke | | Kurzstrecke | | Alter >45 | | Alter <45 | |
|--------------------------------------|------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Vergleichs- ansicht Szenario 2 | 0 | 1,4 | 1 | 1,1 | -1 | 1,1 | -0,1 | 1,2 | 0,3 | 1,7 |

Bei der Bewertung der Vergleichsansicht zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung, haben diese die Piloten im Durchschnitt mit 0 Punkten, also neutral, bewertet. Dies kann der Tabelle 5-5 entnommen werden. Die Standardabweichung fällt mit 1,4 Punkten hoch aus, was unterstreicht wie unterschiedlich diese Funktion von den Piloten aufgefasst wurde. Es lässt sich zudem ein prägnanter Bewertungsunterschied dieser Aussage zwischen den verschiedenen Flugroutenarten identifizieren. Während die Langstreckenpiloten die Vergleichsansicht im Mittel mit 1 (SD=1,1), als eher hilfreich bewerteten, empfanden die Kurzstreckenpiloten diese Funktion im Mittel mit -1 (SD=1,1) eher nicht hilfreich. Ein derartiger Unterschied lässt sich im Bezug auf die verschiedenen Altersgruppen nicht feststellen, da die jeweiligen Mittelwerte eine Differenz von lediglich 0,4 Punkten aufweisen. Im Vergleich zu den zuvor erläuterten Funktionen, weist die Vergleichsansicht folglich die geringste Unterstützung bei der Entscheidungsfindung auf. Es ist jedoch auffällig, dass die Langstreckenpiloten in dieser Funktion einen Mehrwert sehen, während die Kurzstreckenpiloten diese eher ablehnen. Abbildung 5-6 zeigt diesen Unterschied graphisch auf.

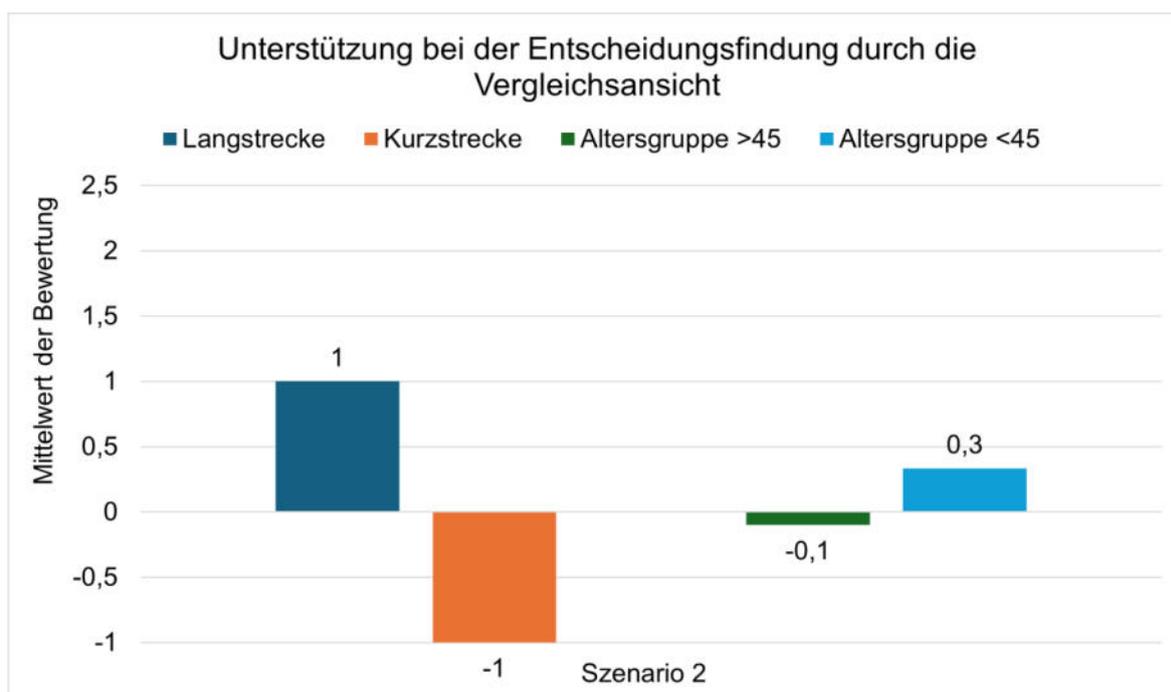


Abbildung 5-6: Visualisierung zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Vergleichsansicht

Die jeweiligen Bewertungen der einzelnen Funktionen über beide Szenarien sind im Folgenden unter Verwendung der Mittelwerte und unter Angabe der Standardabweichung zusammenfassend aufgeführt und in Abbildung 5-7 graphisch visualisiert.

Tabelle 5-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Funktionen

| Funktion | Mean | SD |
|----------------------|------|-----|
| Infoboxen | 1,9 | 0,4 |
| Filter Settings | 1,4 | 0,8 |
| Numerische Filterung | 0,8 | 1,5 |
| Map Overlays | 0,4 | 1,2 |
| Vergleichsansicht | 0 | 1,4 |

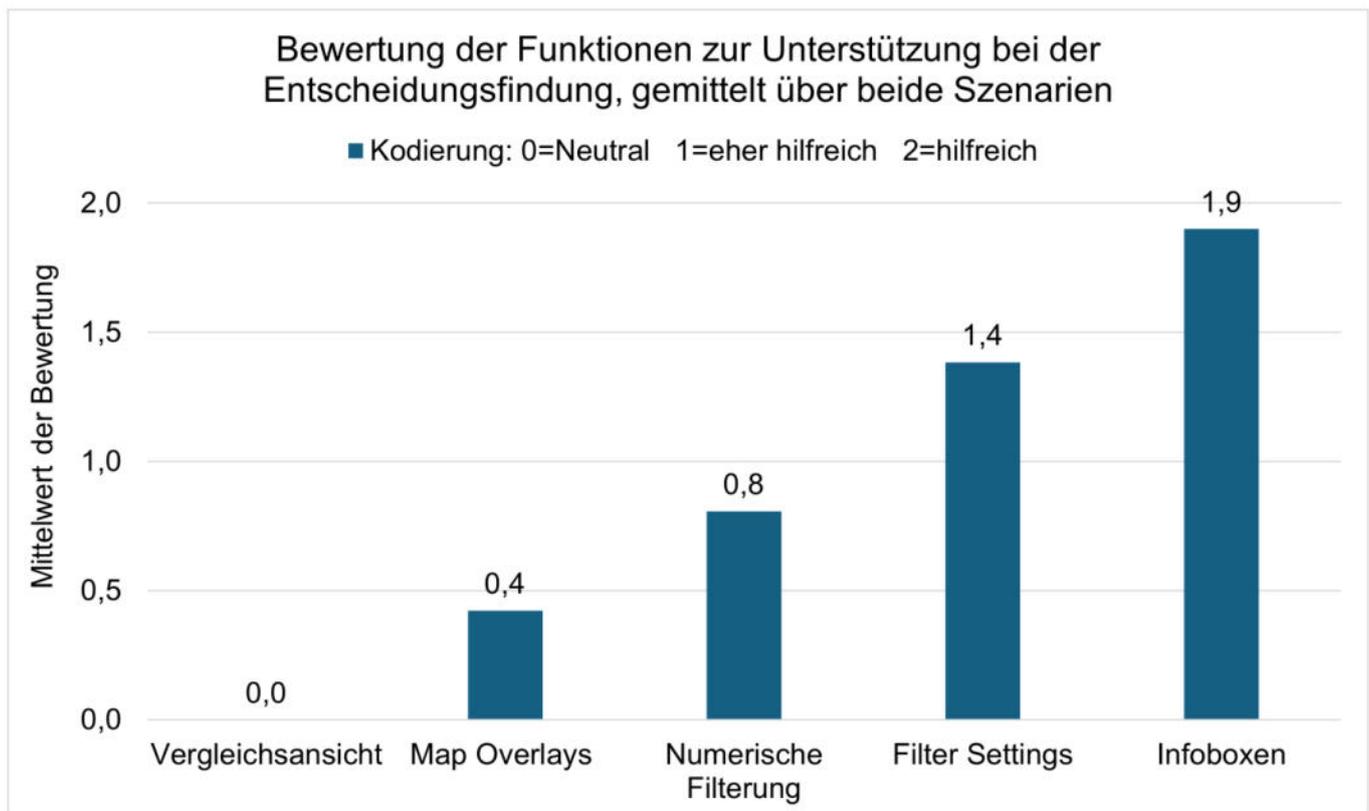


Abbildung 5-7: Visualisierung zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die einzelnen Funktionen

Anhand der Abbildung 5-7 kann die These, dass die Piloten die Funktionen im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung als unterschiedlich hilfreich bewerten, bestätigt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch insbesondere für die Funktionen Vergleichsansicht, Map Overlays und die numerische Filterung, dass die Standardabweichung für diese drei Funktionen größer als 1 ist und die Erfassung des Mittelwerts somit nicht die Meinungen aller Piloten eindeutig widerspiegelt. Im Gegensatz dazu ist die Standardabweichung für die Funktionen Filter Settings und Infoboxen mit 0,8 und 0,4 nicht so stark ausgeprägt, weshalb diese Aussagen das Meinungsbild des Großteils der Piloten wiedergeben. Insbesondere die Infoboxen sind mit ihrem hohen Mittelwert und der geringen Standardabweichung als hilfreich bei der Entscheidungsfindung einzustufen.

Weiterhin kann die These, dass die Piloten, welche überwiegend Lang- oder Kurzstrecke fliegen, die Funktionen des Prototyps unterschiedlich bewerten unter Betrachtung der Ausführungen in diesem Kapitel ebenfalls als bestätigt angesehen werden.

Die Ausführungen zeigen zudem, dass es einen Bewertungsunterschied der Funktionen des Prototyps zwischen den betrachteten Altersgruppen gibt, und diese These somit ebenfalls als bestätigt angesehen werden kann.

6. Diskussion und kritische Betrachtung

In diesem Kapitel werden die zentralen Aussagen der Piloten zu den Funktionen zusammengefasst und ausgewählte Punkte diskutiert. Weiterhin beinhaltet dieses Kapitel die Betrachtung der Validität sowie eine kritische Auseinandersetzung mit der Studie.

6.1. Ergebnisse

Die Funktion der Filter Settings ist im Allgemeinen positiv durch die Piloten aufgefasst worden. Mithilfe der Kodierung kann die Unterstützung dieser Funktion bei der Entscheidungsfindung als eher hilfreich interpretiert werden. Dennoch können mithilfe der Studie diverse Punkte identifiziert werden, wodurch diese Funktion sinnvoll erweitert werden kann. Eine Modifikation der Auswahlmöglichkeiten für die unterschiedlichen Anflugverfahren zählt insbesondere dazu. Weiterhin sprach sich ein Großteil der Piloten für eine umfassendere Berücksichtigung der operativen Belange der Airline aus. Zudem zeigt die Auswertung der Studie, dass die Implementierung einer Filtermöglichkeit zur Berücksichtigung von mindestens zwei unabhängigen Landebahnen sinnvoll ist. Weiterhin führten die Piloten an, dass für die Berechnung des Rankings sowie im Allgemeinen die Gesamtsituation von zentraler Bedeutung ist und somit stärker berücksichtigt werden sollte. Generell sollte nach Auffassung einiger Piloten die Berechnungsgrundlage des Rankings im Hinblick auf die Gewichtung und der Einführung von Grenzwerten der Kriterien angepasst werden. Für die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch diese Funktion, konnte ein prägnanter Bewertungsunterschied zwischen den beiden Flugroutenarten festgestellt werden. Die positivere Bewertung durch die Langstreckenpiloten könnte durch das Phänomen der Filterung im Allgemeinen erklärt werden. Die Langstreckenpiloten sind aufgrund der Beschränkung, dass die Langstreckenflugzeuge längere Start- und Landebahnen sowie spezielle Strukturen zur Abfertigung des Flugzeugs benötigen, in ihrem beruflichen Alltag häufiger mit dem Phänomen des Filterns konfrontiert als Kurzstreckenpiloten. Während Kurzstreckenpiloten in ihrem beruflichen Alltag seltener damit konfrontiert sind, Flughäfen im Hinblick auf ihre Eignung für eine Landung mit einem Kurzstreckenflugzeug zu überprüfen, müssen Langstreckenpiloten diese stets auf eine Eignung für eine Landung mit einem Langstreckenflugzeug überprüfen. Die Ausstattung des Großteils der europäischen Flughäfen ist demnach für eine Landung mit einem Kurzstreckenflugzeug ausreichend, während Langstreckenpiloten aus den vorhandenen Flughäfen die für sie geeigneten Flughäfen herausfiltern müssen. Dieser Zusammenhang könnte erklären, weshalb die Langstreckenpiloten diese Funktion als hilfreicher empfanden als die Kurzstreckenpiloten.

Die numerische Filterung mithilfe der Histogramme wurde durch die Piloten als eher hilfreiche Unterstützung für die Entscheidungsfindung bei Auswahl eines Ausweichflughafens bewertet. Die hohe Standardabweichung zeigt jedoch, wie unterschiedlich diese Funktion bewertet wurde. Hierbei muss eingeräumt werden, dass die Aussagen aus den Onlinemeetings und dem Fragebogen kaum aussagekräftige Schlüsse im Hinblick auf eine sinnvolle Erweiterung dieser Funktion zulassen. Zudem kann ein Nutzen durch die Visualisierung der Filterung mithilfe der Histogramme weder belegt noch widerlegt werden. Vereinzelt Rückmeldungen der Piloten bestätigten das. Während einige Piloten angaben, dass die Visualisierung durch die Histogramme inklusive der kaskadierten Filterung nützlich ist, um Optimierungspotenziale bei der numerischen Filterung zu erkennen, gaben andere Piloten an, dass sie die numerische Filterung zwar genutzt hätten, der Histogrammdarstellung dabei jedoch wenig Beachtung geschenkt haben. Bemerkenswert ist der Bewertungsunterschied zwischen den Altersgruppen im

Hinblick auf die Frage, ob die Darstellung mithilfe der Histogramme als hilfreich empfunden wurde. Die Altersgruppe unter 45 Jahren stimmte dieser Aussage einstimmig zu, während sich die Altersgruppe über 45 Jahren bei einer hohen Standardabweichung von 1,7 neutral äußerte. Zwar gab es auch Piloten der Altersgruppe über 45 Jahren, die die Histogrammdarstellung als hilfreich empfanden, dennoch fällt auf, dass kein Pilot der Altersgruppe unter 45 Jahren diese Darstellung als nicht hilfreich empfand. Dieser Unterschied könnte durch die generelle Aufgeschlossenheit der jüngeren Altersgruppe gegenüber neuen Funktionen und Darstellungen erklärt werden. Während die Altersgruppe über 45 Jahren womöglich eine Ablehnung gegenüber neuen Darstellungsmethoden und Funktionen hegt, zeigen sich jüngere Altersgruppen in der Regel offener gegenüber Veränderungen. Dieser Umstand könnte den Bewertungsunterschied zwischen den Altersgruppen erklären, welcher sich ebenfalls in der Betrachtung der Unterstützung der numerischen Filterung bei der Entscheidungsfindung im Hinblick auf die Auswahl eines Ausweichflughafens niederschlägt.

Für die Map und Overlays kann festgehalten werden, dass die Implementierung von unterschiedlichen Hervorhebungen diese Funktion sinnvoll erweitern kann. Diese beziehen sich auf die Hervorhebung des Start- und Zielflughafens sowie der Operationsbasis der jeweiligen Airline. Die Implementierung der Flugroute zum Zielflughafen und der Flugroute zu den jeweiligen Ausweichflughäfen scheint ebenfalls sinnvoll. Zudem wird eine Veränderung hinsichtlich der Identifikation der angezeigten Flughäfen benötigt. Diese könnte beispielsweise durch die Einführung einer Interaktionsmöglichkeit durch Schweben mit der Maus oder durch die Anzeige des IATA Codes in der Karte implementiert werden. Bei der Frage nach der Implementierung einer Suchfunktion zeichnete sich kein klares Stimmungsbild der Piloten ab. Zwar sprachen sich die Piloten mit einem Mittelwert von 1,2 eher dafür aus diese zu implementieren, dennoch müssen die Argumente der Piloten, die sich gegen eine Suchfunktion ausgesprochen haben, diskutiert werden. Vorausgesetzt die Suchfunktion wird nicht zur Identifizierung von bereits auf der Karte angezeigten Flughäfen genutzt, kann die Beantwortung dieser Frage Aufschluss über die generelle Nutzung des Prototyps geben. Hierbei ist insbesondere das Argument der Piloten zu betrachten, die eine Suchfunktion ablehnten. Diese führten an, dass sie bei der Suche nach Flughäfen, die nicht auf der Karte angezeigt werden und folglich (bei Verwendung des Overlays „Filter in“) ausgefiltert wurden, ihre eigenen Kriterien hinterfragen würden. Sinngemäß fügten diese an, dass sie ihre persönlichen Kriterien durch die Filterung festlegen und folglich nicht im Nachhinein nach Flughäfen suchen müssen, die diese Kriterien offensichtlich nicht erfüllen. An diesem Punkt könnte somit infrage gestellt werden, inwiefern die Piloten den Berechnungen und Anzeigen des Prototyps vertrauen. Allerdings ist die Schlussfolgerung, dass die Piloten, die sich für eine Implementierung einer Suchfunktion ausgesprochen haben, dem Prototyp weniger vertrauen als die Piloten, die sich gegen eine solche Funktion ausgesprochen haben, im Rahmen dieser Studie nicht belegbar. Die Frage unter welchem der genannten Gesichtspunkte (Identifikation von bereits angezeigten Flughäfen oder Suche nach ausgefilterten Flughäfen) diese Aussage im Fragebogen beantwortet wurde, kann jedoch nicht geklärt werden.

Die vergleichsweise hohe Standardabweichung von 1,2 bei der Bewertung der Unterstützung für die Entscheidungsfindung durch die Map Overlays, könnte durch die hohe Anzahl der Overlays und deren komplexe Funktionsweise erklärt werden. Während des Onlinetermins wurde die Funktionsweise der Overlays zwar ausführlich erklärt, dennoch gaben einige Piloten an, dass sie den Unterschied zwischen den Overlays und der Filterung nicht gänzlich verstanden haben. Zu diesem Verständnisproblem haben die Overlays „Filter in“ und „Filter out“ sicherlich beigetragen. Weiterhin könnte die Logik der Overlays der Kategorie „Exclusion Criteria“ dazu beigetragen haben. Einige Piloten führten hierzu an, dass sie es als verwirrend empfanden, dass bei der Auswahl

dieser Overlays mehr Flughäfen angezeigt werden, als wenn diese nicht angewählt sind. Zudem stellten einige Piloten fälschlicherweise einen Zusammenhang zwischen den Exclusion Criteria Overlays und der numerischen Filterung her.

Die Infoboxen wurden im Rahmen dieser Studie als hilfreiche Funktion im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung bewertet. Die geringe Standardabweichung von 0,4 zeigt zudem, dass dieses Ergebnis durch den Großteil der Piloten vertreten wird. Eine sinnvolle Erweiterung dieser Funktion wird nach Ansicht der Piloten durch die Implementierung einer ATIS in die Infoboxen dargestellt. Zudem ist ein Großteil der Piloten der Auffassung, dass eine Verknüpfung zwischen der Filterung und den Infoboxen implementiert werden sollte. Dadurch wird für die Flughäfen, die durch die numerische Filterung ausgefiltert wurden, besser ersichtlich, aufgrund welches Kriteriums dieser Flughafen ausgefiltert wurde. Dies erhöht für die Piloten die Transparenz im Entscheidungsprozess.

Die Vergleichsansicht wurde von den Piloten sehr unterschiedlich aufgefasst. Das spiegelt sich in der Bewertung dieser Funktion im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung wider. Diese wurde im Mittel mit 0 Punkten bewertet, was mithilfe der Kodierung als neutral interpretiert werden kann. Die Standardabweichung von 1,4 ist ebenfalls ein Indiz dafür, dass unter den Piloten Uneinigkeit in der Bewertung dieser Funktion vorlag. Aus den Anmerkungen im Onlinemeeting kann gefolgert werden, dass die Piloten den Grundgedanken dieser Funktion (Vergleich von Flughäfen im Hinblick auf bestimmte Kriterien) durchaus positiv bewerten. Allerdings scheint dem Ergebnis der quantitativen Daten zufolge, die Umsetzung dieser Funktion nicht auf allgemeine Zustimmung zu stoßen. Die Piloten führten an, dass die Interpretation der Vergleichsansicht sehr komplex ist und die Darstellungen ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erfordern, um richtig interpretiert zu werden. Zudem merkten die Piloten an, dass die Interaktion zur Änderung des Referenzflughafens zu umständlich ist. Diese Rückmeldung kann allerdings auf die eingeschränkten Umsetzungsmöglichkeiten dieser Interaktion innerhalb der Softwareumgebung MATLAB zurückgeführt werden. Die Normierung mit dem höchsten Wert sowie die Farbe und Richtung der Balken verkomplizierte die Interpretation der Ergebnisse nach Auffassung der Piloten zusätzlich. Bemerkenswert ist der Bewertungsunterschied dieser Funktion zwischen den unterschiedlichen Flugroutenarten. Die Langstreckenpiloten bewerteten die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung im Mittel mit 1, während die Kurzstreckenpiloten diese mit -1 als eher nicht hilfreich bewerteten. Diese Aussage korreliert mit der Antwort auf die Aussage, dass den Piloten der Inhalt der Vergleichsansicht zu jedem Zeitpunkt des Szenarios klar war. Dieser Aussage stimmten die Langstreckenpiloten im Mittel mit 1 eher zu, während die Kurzstreckenpiloten mit durchschnittlich -0,6 Punkten eher nicht zustimmten. Worin dieser Verständnisunterschied allerdings begründet ist und warum er sich gerade bei der Betrachtung der beiden Flugroutenarten und nicht zwischen den Altersgruppen äußert, ist unklar.

Bei der globalen Betrachtung der Funktionen im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung ist zudem auffällig, dass die Langstreckenpiloten die Funktionen durchgehend besser bewertet haben als die Kurzstreckenpiloten. Die einzige Funktion, auf die diese Aussage nicht zutrifft, ist die der Infoboxen im ersten Szenario. Da die Bewertungsdifferenz jedoch lediglich 0,2 Punkte beträgt, ist diese vernachlässigbar. Aus diesem Zusammenhang kann gefolgert werden, dass die Langstreckenpiloten im Rahmen dieser Studie den Prototyp als

hilfreicher im Hinblick auf die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung empfunden haben als Kurzstreckenpiloten.

Zudem fällt auf, dass die Bewertungsdifferenz der Funktionen zwischen den Flugroutenarten im zweiten Szenario höher ist als im ersten Szenario. Die bessere Bewertung der Langstreckenpiloten könnte darin begründet liegen, dass der Auftrittszeitpunkt des Fehlers über großen Wassermassen ein Szenario darstellte, mit dem sie in ihrem beruflichen Alltag eher konfrontiert sind als Kurzstreckenpiloten. Somit hatte dieses Szenario für die Langstreckenpiloten einen höheren Realitätsgrad, weshalb sie die Unterstützung des Prototyps in ein anderes Verhältnis zur bestehenden Systemarchitektur setzen konnten als die Kurzstreckenpiloten.

Im Allgemeinen fiel die Resonanz zum untersuchten Prototyp überwiegend positiv aus. Dies zeigte sich auch in der Beantwortung der Frage, ob der Prototyp den Piloten subjektiv eine schnellere Entscheidungsfindung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens ermöglichte als die bestehende Systemarchitektur. Diese Frage beantworteten 9 der 13 Piloten mit ja, während lediglich 4 Piloten diese Frage verneinten.

6.2. Kritische Betrachtung der Studie

Für die kritische Betrachtung der Studie sind mehrere Aspekte von Relevanz. Hierfür wird im Folgenden Unterkapitel die Validität der Ergebnisse diskutiert. Weiterhin werden diverse Aspekte im Bezug auf die Ergebnisse und die Evaluierungsmethode angeführt.

6.2.1. Validität der Ergebnisse

Die Validität der Studie lässt sich in die Kategorien interne Validität, externe Validität, Konstruktvalidität und statistische Validität unterteilen, welche es ermöglichen die Ergebnisse der Studie sowie die Methodik auf ihre Validität zu untersuchen.

Die interne Validität [43] beschreibt die Gültigkeit einer Untersuchung im Bezug auf die eindeutige Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Diese Voraussetzung ist erfüllt, da die Aussagen aus den Onlinemeetings und die Bewertungen der Fragebögen eindeutig interpretiert werden können. Zudem können negative Einflussfaktoren, wie die Veränderung der Messinstrumente, aufgrund des gleichbleibenden Ablaufs der Studie ausgeschlossen werden.

Die externe Validität [44] gibt an, inwieweit die Ergebnisse einer Studie über die spezifischen Bedingungen der Untersuchung hinaus auf andere Personen, Situationen oder Zeitpunkte übertragbar sind. Diese muss im Rahmen dieser Studie als gering eingestuft werden, da lediglich eine geringe Anzahl an Piloten an dieser teilgenommen hat und die Ergebnisse somit nicht auf die Gesamtheit aller Piloten übertragen werden können. Zudem war der Anteil an Kapitänen unter den Teilnehmern überdurchschnittlich hoch, was die Übertragbarkeit weiter einschränkt. Auch die Beschränkung auf lediglich zwei Szenarien spricht für eine geringe externe Validität.

Die Konstruktvalidität [45], die die Güte des Erhebungsverfahrens misst, kann im Rahmen dieser Studie als angemessen betrachtet werden. Durch die sorgfältige Planung der Szenarien und die Berücksichtigung der spezifischen Einschränkungen des Flugzeugmusters, wurde eine möglichst realitätsnahe Gestaltung der Studie sichergestellt. Der Einsatz etablierter Datenerfassungsmethoden, wie Fragebögen, trug ebenfalls zur Erhöhung der Konstruktvalidität bei. Es ist jedoch zu beachten, dass ein gewisser Interpretationsspielraum bei den im Fragebogen

erfassten Fragen bestehen könnte, was die Konsistenz und Genauigkeit der Antworten beeinträchtigen kann. Weiterhin beeinflusst die Durchführung der Studie als Onlinemeeting, trotz sorgfältiger Planung, die Konstruktvalidität negativ, da die Bedingungen von der realen Cockpitumgebung abweichen.

Die statistische Validität [46] ist gegeben, da die Berechnungsgrundlage der Mittelwerte und Standardabweichungen mithilfe der Kodierung konsistent im Rahmen der Auswertung angewandt wurde. Die zugehörigen Zahlenwerte sind somit eindeutig zuweisbar und interpretierbar. Die statistische Validität ist dennoch als gering einzustufen, da lediglich 14 Piloten an der Studie teilgenommen haben, von denen 13 den Fragebogen beantwortet haben. Weiterhin sind jeweils lediglich fünf Piloten den untersuchten Flugroutenarten zuzuordnen. Zudem sind die beiden untersuchten Altersgruppen mit zehn (Altersgruppe über 45 Jahre) und drei Teilnehmern (Altersgruppe unter 45 Jahre) sehr ungleich verteilt, was die statistische Validität der Ergebnisse weiter einschränkt.

Zusammenfassend können die Ergebnisse dieser Studie im Rahmen der Validität als teilweise gültig angesehen werden, da gewisse Aspekte, wie die interne Validität, erfüllt sind. Allerdings schmälern die Einschränkungen im Hinblick auf die externe Validität, die Konstruktvalidität und die statistische Validität die Aussagekraft der gewonnen Erkenntnisse.

6.2.2. Anmerkungen zu den Ergebnissen und der Evaluierungsmethode

In diesem Unterkapitel werden Aspekte aufgeführt, die im Rahmen der Auswertung bei der Betrachtung der Ergebnisse und der Evaluierungsmethode aufgefallen sind.

Zunächst müssen hierbei die Antworten und Rückmeldungen eines Piloten der Altersgruppe über 45 Jahren betrachtet werden. Aus den Rückmeldungen des Onlinemeetings und den Antworten im Fragebogen ging hervor, dass dieser dem Prototyp im Gesamten sehr kritisch gegenüberstand. Diese Rückmeldung ist zunächst nicht ungewöhnlich, hat aber aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl einen beachtlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Unter Zuhilfenahme der Bearbeitungszeiten des Abschlussfragebogens, welche im Durchschnitt bei 27 Minuten (SD=15 Minuten) lag, ist die Bearbeitungszeit dieses Piloten hervorzuheben. Dieser beantwortete den Fragebogen innerhalb von sieben Minuten, sodass davon auszugehen ist, dass viele Fragen und Aussagen von diesem Piloten ablehnend bewertet wurden, ohne sich tiefgreifend mit dem Inhalt des Fragebogens auseinanderzusetzen. Anzumerken ist jedoch, dass die Piloten die Beantwortung des Fragebogen pausieren konnten, was die durchschnittliche Bearbeitungszeit erhöhen könnte. Da dieser Pilot jedoch keine Informationen zur Flugroute, auf der dieser hauptsächlich eingesetzt wird, bereitstellte, gingen die Bewertungen lediglich in den Gesamtmittelwert und die betrachteten Altersgruppen ein.

Im Hinblick auf die Studienteilnehmer muss zudem angemerkt werden, dass 5 der 14 Teilnehmer der Altersgruppe über 55 Jahren zugehörig waren. Da das durchschnittliche Renteneintrittsalter nach [47] für die Piloten einer großen deutschen Airline allerdings bei 59 Jahren liegt, muss davon ausgegangen werden, dass ein Teil dieser Piloten zum Zeitpunkt der Studie nicht mehr im aktiven Flugbetrieb tätig war. Dieser Umstand ist vor dem Hintergrund von Relevanz, als dass diese Piloten die Studie zum Anlass genommen haben könnten, sich über den aktuellen Stand der Forschung zu informieren und weniger an den eigentlichen Inhalten des Systems interessiert waren. Konsequenzen für die Qualität der Aussagen dieser Piloten können daraus jedoch nicht gezogen werden. Eine Abfrage im Fragebogen, ob die Piloten noch im aktiven Flugdienst tätig sind, und ob es einen messbaren

Unterschied zwischen den Aussagen der aktiven und inaktiven Piloten gegeben hätte, wäre vor diesem Gesichtspunkt ebenfalls interessant gewesen.

Weiterhin kann im Rahmen dieser Studie kein belegbarer Einfluss der Histogramme auf die numerische Filterung festgestellt werden. Die zugehörigen Aussagen im Fragebogen konnten diesen Zusammenhang weder bestätigen noch widerlegen. Außerdem muss angemerkt werden, dass die Aussage, dass die Histogrammdarstellung als hilfreich empfunden wurde, im Mittel mit lediglich 0,3 Punkten ($SD=1,7$) bewertet wurde, was darauf hinweist, dass die Meinungen der Piloten im Hinblick auf diese Darstellung stark divergieren. Diese Erkenntnis ist insbesondere im Hinblick auf die Schwerpunktlegung der Studie auf die numerische Filterung als ernüchternd einzustufen. Eventuell wäre eine gesonderte Betrachtung der numerischen Filterung und der Histogrammdarstellung im Fragebogen sinnvoll gewesen, um die Erkenntnisse zu diesen besser differenzieren zu können.

Des Weiteren müssen die im Fragebogen erfassten Aussagen und Antwortmöglichkeiten kritisch hinterfragt werden. Hierzu ist anzuführen, dass die Verwendung von Likert-Skalen mit vier Antwortmöglichkeiten Vor- und Nachteile bietet. Die in der Studie verwendeten Antwortmöglichkeiten bilden zwei Positive und zwei negative Antwortmöglichkeiten in der Abstufung „stimme nicht zu“, „stimme eher nicht zu“, „stimme eher zu“ und „stimme zu“ ab. Weiterhin hatten die Piloten durch die Antwortmöglichkeit „Keine Antwort“ die Möglichkeit sich zu enthalten. Auch wenn sich der Wortlaut der Antwortmöglichkeiten im Fragebogen ändert, bleibt die grundlegende Logik und Abstufung identisch. Diese bietet den Vorteil, dass sie klar erfassen kann, ob ein Pilot den Aussagen zustimmt oder nicht zustimmt, und in welcher Ausprägung. Allerdings kann lediglich eher zugestimmt oder zugestimmt, respektive eher nicht zugestimmt und nicht zugestimmt werden, womit lediglich zwei Abstufungen in die positive und negative Richtung vorliegen. Dadurch ist es schwierig, Extrema in den Aussagen der Piloten zu identifizieren. Vor diesem Hintergrund kann die Verwendung einer feineren Abstufung der Antwortmöglichkeiten ebenfalls von Interesse sein. Eine Konsequenz dieser Antwortmöglichkeiten ist die hohe Standardabweichung von teilweise einer Bewertungsstufe bei einem Großteil der beantworteten Aussagen. Diese wird durch die geringe Teilnehmerzahl und das Vorhandensein von lediglich vier Antwortoptionen begünstigt. Ob diese durch die Verwendung einer feineren Abstufung in den Antwortmöglichkeiten geringer gewesen wäre, ist jedoch fraglich. Hohe Standardabweichungen sind im Rahmen der Antwortmöglichkeiten zudem ein Indiz für die Uneinigkeit bei der Bewertung einer Aussage. Das liegt darin begründet, dass aufgrund der Kodierung die Differenz zwischen den Antwortmöglichkeiten „stimme eher zu“ und „stimme eher nicht zu“, 2 Punkte beträgt. Sollten die Piloten folglich einer Aussage im gesamten zustimmen, also die Antwortoptionen „stimme eher zu“ und „stimme zu“ verwenden, so ist die Differenz zwischen diesen Antwortmöglichkeiten lediglich 1 Punkt und die Standardabweichung bedeutend geringer. Daraus kann gefolgert werden, dass im Rahmen dieser Studie für Standardabweichungen $<0,5$ die entsprechenden Piloten einer Aussage eindeutig zu- oder entgegengestimmt haben.

In Anbetracht der verwendeten Methodik ist anzuführen, dass es diverse weitere Möglichkeiten gibt, um die Nutzung des Prototyps zu evaluieren. Hierbei ist beispielsweise das Eye Tracking anzuführen, mit dem die Blickbewegungen aufgezeichnet werden können. Dadurch könnte gemessen werden, welche Funktion des Prototyps wie intensiv genutzt wird. Im Rahmen dieser Onlinestudie konnte diese Methode aufgrund der Rahmenbedingungen jedoch keinen Einsatz finden. Auch die Messung der Zeit zur Bearbeitung der Szenarien, könnte zur Identifikation von besonders hilfreichen Funktionen zu Rate gezogen werden. Das Ausblenden der

Vergleichsansicht hat diesen Aspekt in gewisser Weise aufgefasst, allerdings wurde bei den Szenarien bewusst auf die Messung der Bearbeitungszeit verzichtet, da das Anbringen von Anmerkungen und die Nutzung des Prototyps ohne Zeitdruck im Vordergrund standen. Auch eine Betrachtung der Klickzahlen könnte darüber Aufschluss geben, wie intensiv welche Funktion des Prototyps genutzt wird. Dieser Ansatz wurde zu Beginn der Studie auch verfolgt, jedoch zeigte die Auswertung der Klickzahlen keinen sinnvollen Zusammenhang zwischen den einzelnen Funktionen auf. Als Grund ist hier erneut die freie Nutzung des Prototyps anzuführen ohne den Fokus auf die Bearbeitungszeit der Szenarien.

Zu erwähnen ist zudem, dass die Szenarien aufgrund der Limitierungen des Prototyps zwei Kurzstreckenflüge abgebildet haben, was nicht der üblichen Flugroute von Langstreckenpiloten entspricht. Dennoch wurde versucht, durch die Auswahl des Fluges über die Nordsee den Überflug von großen Wassermassen zu simulieren, was der typischen Flugroute von Langstreckenpiloten tendenziell eher entspricht. Weiterhin ist hervorzuheben, dass die Szenarien, wie in Kapitel 3.4 erwähnt, zwei zeitunkritische Fehler abgebildet haben, weshalb diese Studie keine Aussagen zur Nutzung des Prototyps in zeitkritischen Situationen zulässt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Pilotenstudie durchgeführt, die den Zweck verfolgte, ein Ausweichflughafenassistenzsystem zu evaluieren. Hierfür wurden zunächst die notwendigen Grundlagen hinsichtlich der Auswahl von Ausweichflughäfen sowie der zu untersuchende Assistenzsystem-Prototyp erläutert. Weiterhin befasste sich diese Arbeit mit der Entwicklung einer Evaluierungsmethode. Diese wurde so gestaltet, dass die Fragestellung, inwiefern die Funktionen des Prototyps sinnvoll erweitert werden können, mithilfe der Studie beantwortet werden konnte. Zudem wurden Thesen aufgestellt, die im Rahmen der Untersuchung betrachtet werden sollten. Um die Fragestellung zu untersuchen sowie die Thesen zu betrachten, wurden verschiedene Methoden und Durchführungsvarianten diskutiert. Aus dieser ging der Test am Prototyp des Assistenzsystems als bestgeeignete Methode hervor. In der Folge wurden zwei Szenarien erarbeitet, die zwei Kurzstreckenflüge in Europa abbildeten und von den Piloten während der Studie bearbeitet wurden. Die Studie wurde als Onlinemeeting durchgeführt mit einer Teilnehmeranzahl von insgesamt 14 Piloten. Die Daten zur Bearbeitung der Forschungsfrage und den zu untersuchenden Thesen wurden in Form von qualitativen Daten, welche aus den Rückmeldungen der Onlinemeetings hervorgingen, und in Form von quantitativen Daten, die in Form eines Fragebogens abgefragt wurden, erfasst. Aus diesen geht hervor, dass die Funktionen durch die Implementierung verschiedener Daten und Funktionen erweitert werden können. Zu den prägnantesten Erweiterungen zählen im Rahmen dieser Studie die folgenden Aspekte:

- Modifikation zur Auswahlmöglichkeit der verschiedenen Anflugverfahren
- Umfangreiche Berücksichtigung der operativen Belange der Airline
- Anpassungen zur Berechnungsvorschrift des Rankings
- Hervorhebung von relevanten Flughäfen in der Karte
- Verbesserung der Identifikationsmöglichkeiten von Flughäfen auf der Karte
- Einbindung einer ATIS in den Prototyp
- Generelle Überarbeitung der Darstellungsart und der Inhalte der Vergleichsansicht

In Bezug auf die aufgestellten Thesen kann zusammengefasst werden, dass die verschiedenen Funktionen des Prototyps als unterschiedlich hilfreich im Hinblick auf die Unterstützung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens bewertet wurden. Am hilfreichsten war die Funktion der Infoboxen gefolgt von der allgemeinen Filterung. Die numerische Filterung, welche durch eine Histogrammdarstellung graphisch unterstützt wird, wurde als eher hilfreich bewertet. Die Funktion der Map Overlays, sowie der Vergleichsansicht wurden in dieser Hinsicht als neutral bewertet. In großen Teilen der untersuchten Aspekte lässt sich zudem ein Bewertungsunterschied zwischen den Kurz- und Langstreckenpiloten, als auch zwischen den Altersgruppen unter 45 Jahren und über 45 Jahren feststellen. Die aufgestellten Thesen bestätigten sich somit.

Hinsichtlich der kritischen Betrachtung der Studie muss allerdings festgestellt werden, dass diese aufgrund der geringen Teilnehmerzahl lediglich eine beschränkte Aussagekraft aufweist. Die gewonnenen Erkenntnisse können nicht auf die Gesamtheit aller Piloten angewendet werden und sind zudem auf die Evaluierungsmethodik beschränkt. Weiterhin deutet die prägnante Standardabweichung, welche bei einem Großteil der quantitativen Daten zu verzeichnen ist, darauf hin, dass die Meinungen der Piloten im Hinblick auf den Prototyp im Gesamten und im Bezug auf die einzelnen Funktionen divergieren.

Die Diversität der weiteren spezifischen Betrachtungsmöglichkeiten und Auswertungsschwerpunkte für zukünftige Studien ist sehr hoch. Hierfür ist beispielsweise die Untersuchung des Prototyps im Hinblick auf das eMCO-SiPO Segment [48] anzuführen. Hierbei könnte überprüft werden, inwiefern der Prototyp dazu in der Lage ist, einem Piloten, der aus der Ruhezeit ins Cockpit zurückkehrt, einen Gesamtüberblick über die Situation im Hinblick auf mögliche Ausweichflughäfen zu geben. Weitere spezifische Untersuchungsmöglichkeiten können die Bewertungsunterschiede zwischen Kapitänen und First Officern sowie Abhängigkeitsuntersuchungen der Funktionen untereinander thematisieren. Ebenfalls von Interesse kann die Untersuchung des Prototyps in einer realitätsnahen Cockpitumgebung sein, sodass die Nutzung des Prototyps als Teil der Gesamtsituation und vor dem Hintergrund der fliegerischen Grundaufgaben (Aviate, Navigate, Communicate) betrachtet werden kann. Der Fokus der hiesigen Untersuchungen lag jedoch auf der Fragestellung, inwiefern die bestehenden Funktionen des Prototyps sinnvoll erweitert werden können und in der Betrachtung der aufgestellten Thesen, weshalb weitere spezifische Fragestellungen ein Gegenstand zukünftiger Untersuchungen darstellen können.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 2-1: FORDEC Modell nach [1] | 15 |
| Abbildung 2-2: MCDU eines A320 (Quelle [9]) | 17 |
| Abbildung 2-3: Navigation Display eines A320 (Quelle [11])..... | 18 |
| Abbildung 2-4: EFB des Typs B (Quelle [14]) | 19 |
| Abbildung 2-5: Gesamtansicht des Assistenzsystem-Prototyps..... | 21 |
| Abbildung 2-6: Detailansicht Feld 1..... | 22 |
| Abbildung 2-7: Detailansicht Feld 2..... | 22 |
| Abbildung 2-8: Detailansicht Feld 3..... | 23 |
| Abbildung 2-9: Detailansicht Feld 4..... | 24 |
| Abbildung 2-10: Auswahlmöglichkeiten per Dropdown Menü | 24 |
| Abbildung 2-11: Detailansicht Feld 5..... | 26 |
| Abbildung 2-12: Histogrammdarstellung unter Anwendung der kaskadierten Filterung..... | 26 |
| Abbildung 2-13: Detailansicht Feld 6 und 6.1..... | 27 |
| Abbildung 2-14: Anzeige des Overlays Airline Airport | 28 |
| Abbildung 2-15: Detailansicht Feld 7..... | 30 |
| Abbildung 2-16: Erläuterung zur farblichen Hinterlegung durch Interaktion mit der Maus..... | 31 |
| Abbildung 2-17: Detailansicht Feld 8..... | 33 |
| Abbildung 3-1: Visualisierung zur Methodikauswahl | 43 |
| Abbildung 3-2: Handbuchauszug zum Rudder Jam | 45 |
| Abbildung 3-3: Flugroute zum Szenario eins (Quelle [34])..... | 46 |
| Abbildung 3-4: Großwetterlage zum Szenario eins (Quelle [36])..... | 47 |
| Abbildung 3-5: Flugroute zum Szenario zwei (Quelle [34])..... | 49 |
| Abbildung 3-6: Großwetterlage zum Szenario zwei (Quelle [36])..... | 50 |
| Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus | 53 |
| Abbildung 4-2: Altersgruppenverteilung der Teilnehmer | 54 |
| Abbildung 4-3: Boxplots zur Verteilung des Lizenzbesitz und der absolvierten Flugstunden..... | 55 |
| Abbildung 5-1: Visualisierung der Bewertungen zur Funktion Filter Settings..... | 62 |
| Abbildung 5-2: Visualisierung der Bewertungen zur numerischen Filterung..... | 64 |
| Abbildung 5-3: Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Map Overlays..... | 67 |
| Abbildung 5-4: Visualisierung der Zustimmung zur Reduktion der Detailinformationen zu den Landebahnen in der Infobox..... | 69 |
| Abbildung 5-5: Visualisierung zur Unterstützung der Infoboxen bei der Entscheidungsfindung | 70 |
| Abbildung 5-6: Visualisierung zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Vergleichsansicht..... | 73 |
| Abbildung 5-7: Visualisierung zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die einzelnen Funktionen .. | 74 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 2-1: Eigenschaften der einzelnen Runway Condition Codes | 29 |
| Tabelle 4-1: Zeitplanung für die Onlinestudie | 57 |
| Tabelle 5-1: Ergebnisse zur Funktion Filter Settings..... | 61 |
| Tabelle 5-2: Ergebnisse zur numerischen Filterung..... | 63 |
| Tabelle 5-3: Ergebnisse zu den Map Overlays | 66 |
| Tabelle 5-4: Ergebnisse zu den Infoboxen..... | 70 |
| Tabelle 5-5: Ergebnisse zur Vergleichsansicht..... | 72 |
| Tabelle 5-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Funktionen | 74 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|--|
| ATIS | Automatic Terminal Information Service |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. |
| EASA | European Union Aviation Safety Agency |
| EFB | Electronic Flight Book |
| FAA | Federal Aviation Administration |
| GUI | Graphical User Interface |
| HMI | Human Machine Interface |
| IATA | International Air Transport Association |
| ICAO | International Civil Aviation Organization |
| IRIS | Intelligent Recommendation Interactive System |
| MCDU | Multipurpose Control and Display Unit |
| METAR | Meteorological Aerodrome Report |
| MPO | Multi Pilot Operation |
| NICo | Next Generation Intelligent Cockpit |
| NM | Nautische Meilen |
| PTU | Power Transfer Unit |
| SD | Standardabweichung |
| SPO | Single Pilot Operation |
| TAF | Terminal Aerodrome Forecast |

Literaturverzeichnis

- [1] H. J. Hörmann, "FOR-DEC - A Prescriptive Model for Aeronautical Decision Making," in 21. WEAAP-Conference, Dublin, 28.-31.03.94, 1994. [Online]. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/27044/>
- [2] "NICo." Zugriff am: 30. Dezember 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.dlr.de/de/fl/forschung-transfer/projekte/nico>
- [3] G. Schmitz und J.-P. Buch, "DLR-Projekt NICo: Vorläufige Auswertung einer Online-Pilotenstudie zur Entscheidungsfindung bei der Auswahl eines Ausweichflughafens," 2024, doi: 10.25967/610107. Zugriff am: 11. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dglr.de/publikationen/2024/610107.pdf>
- [4] EASA, "Easy Access Rules for Air Operations - Revision 22 - February 2025," Zugriff am: 11. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/20342/en>
- [5] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Annex 6 – Operation of Aircraft, Part I: International Commercial Air Transport – Aeroplanes," [Online]. Verfügbar unter: <https://fac.ch/wp-content/uploads/2020/09/ICAO-Annex-6-Operation-of-Aircraft-Part-I-International-commercial-air-transport.pdf>
- [6] "14 CFR Part 91 -- General Operating and Flight Rules." Zugriff am: 11. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-91>
- [7] "Aktuelle Aspekte der Flugmeteorologie I - Grundlegendes," *Promet meteorologische fortbildung*, Jg. 38, 3/4. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_promet/pdf_promethefte/38_3_4_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- [8] "Flight Management System | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/flight-management-system>
- [9] "A320neo Pilot Briefing - MCDU - FlyByWire Simulations Documentation." Zugriff am: 11. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://docs.flybywiresim.com/pilots-corner/a32nx/a32nx-briefing/mcdu/#chapters>
- [10] "Crew Information and Action Flow | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/crew-information-and-action-flow>
- [11] IVAO Documentation Library. "Navigation Display - ND | IVAO Documentation Library." Zugriff am: 31. Januar 2025. [Online.] Verfügbar: https://wiki.ivao.aero/en/home/training/documentation/Navigation_Display_-_ND
- [12] "Electronic Flight Bag (EFB) | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 11. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/electronic-flight-bag-efb>
- [13] "AC 120-76D - Authorization for Use of Electronic Flight Bags," [Online]. Verfügbar unter: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4219.pdf>
- [14] Avionics International. "Lufthansa, Swiss to Equip with GEE EFBs - Avionics International." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.aviationtoday.com/2016/02/10/lufthansa-swiss-to-equip-with-gee-efbs/>
- [15] "Aircraft Communications, Addressing and Reporting System | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-communications-addressing-and-reporting-system>
- [16] "Berufsbild: Flugdienstberater – Deutsche Flugdienstberatervereinigung DFV." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://flugdienstberater.org/berufsbild-flugdienstberater>

- [17] B. Ceballos, M. T. Lamata und D. A. Pelta, "A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods," *Prog Artif Intell*, Jg. 5, Nr. 4, S. 315–322, 2016. doi: 10.1007/s13748-016-0093-1. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/301343791_A_comparative_analysis_of_multi-criteria_decision-making_methods
- [18] "Weather Forecast | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/weather-forecast>
- [19] "Runway Condition Codes (RCC) | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 13. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/runway-condition-codes-rcc>
- [20] A.-Q. V. Dao *et al.*, "Evaluation of a Recommender System for Single Pilot Operations," *Procedia Manufacturing*, Jg. 3, S. 3070–3077, 2015. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.853. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915008549>
- [21] J.-P. Buch und G. Schmitz, "DLR Projekt NICO: Virtuell oder vor Ort? Erkenntnisse über die Onlinedurchführung einer Pilotenstudie zur Entscheidungsfindung," in *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2023*, Stuttgart, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/200988/>
- [22] H. Kuusela und P. Paul, "A Comparison of Concurrent and Retrospective Verbal Protocol Analysis," *The American Journal of Psychology*, Jg. 113, Nr. 3, S. 387, 2000. doi: 10.2307/1423365. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.jstor.org/stable/1423365>
- [23] Garrett Sadler, Henri Battiste, Nhut Ho, Lauren Hoffmann und David Smith, "Effects of transparency on pilot trust and agreement in the autonomous constrained flight planner," in *2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 2016, S. 1–9, doi: 10.1109/DASC.2016.7777998.
- [24] S. Yip und D. J. Robson, "Graphical user interfaces validation: a problem analysis and a strategy to solution," S. 91–100, 1991. doi: 10.1109/HICSS.1991.183966. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/hicss/1991/00183966/12OmNqH9hkl>
- [25] *IBM Systems Research Institute, Lecturer in Computer Science, Polytechnic Institute of New York, The Art of Software Testing*, by John Wiley & Sons, 1979.
- [26] Josef Pichler und Rudolf Ramler, "How to Test the Intangible Properties of Graphical User Interfaces?," in *Proceedings of the First International Conference on Software Testing, Verification and Validation: April 9 - 11, 2008, Lillehammer, Norway*, 2008, S. 494–497, doi: 10.1109/ICST.2008.52.
- [27] DMSFACTORY. "Was bedeutet On demand - Das Glossar der DMSFACTORY." Zugriff am: 1. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.dmsfactory.com/glossar/on-demand/>
- [28] Rüdiger Pohl, *Cognitive illusions: A handbook on fallacies and biases in thinking, judgement and memory*, 1. Aufl. Hove: Psychology Press, 2004. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/256309189_Cognitive_illusions_A_handbook_on_fallacies_and_biases_in_thinking_judgment_and_memory
- [29] LimeSurvey GmbH. "LimeSurvey: An Open Source survey tool." Version 6.10.0. Zugriff am: 12. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.limesurvey.org/de>
- [30] "Likert-Skalen: Beispiele, Tipps und Datenanalyse." Zugriff am: 4. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.surveymonkey.com/mp/likert-scale/>
- [31] Qualtrics. "Likert-Skala: Definition, Beispiel und Vorteile | Qualtrics." Zugriff am: 4. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.qualtrics.com/de/erlebnismanagement/marktforschung/likert-skala/>
- [32] Statista Lexikon. "Ordinalskala - Statista Definition." Zugriff am: 25. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/99/ordinalskala/>

- [33] P. Mayring und T. Fenzl, "Qualitative Inhaltsanalyse," in *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (Springer eBook Collection), N. Baur und J. Blasius, Hg., 2. Aufl. Wiesbaden: Springer VS, 2019, S. 633–648. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-21308-4_42
- [34] SimBrief. "SimBrief.com - Virtual Flight Planning Solutions." Zugriff am: 11. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.simbrief.com/home/>
- [35] Guillermo Ballester Valor, *METAR/TAF-Datenbank (Ogimet)*. Zugriff am: 12. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ogimet.com/metars.phtml.en>
- [36] "Wetterkarte — ZAMG." Zugriff am: 12. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte?tag=21&monat=12&jahr=2023&utc=12>
- [37] "Extended Range Operations | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 17. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/extended-range-operations>
- [38] "GoTo Meeting – Videokonferenzen und Onlinemeetings." Zugriff am: 14. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.goto.de/meeting>
- [39] "Open Broadcaster Software | OBS." Zugriff am: 14. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://obsproject.com/de>
- [40] European Flight Academy. "Dein Berufseinstieg in der Lufthansa Group - European Flight Academy - lufthansa-aviation-training.com." Zugriff am: 19. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.european-flight-academy.com/de/berufseinstieg>
- [41] "Methode des lauten Denkens | Lehrbuch Psychologie." Zugriff am: 24. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.lehrbuch-psychologie.springernature.com/glossar/methode-des-lauten-denkens-0>
- [42] "Automatic Terminal Information Service (ATIS) | SKYbrary Aviation Safety." Zugriff am: 2. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://skybrary.aero/articles/automatic-terminal-information-service-atis>
- [43] "Interne Validität – eLearning - Methoden der Psychologie - TU Dresden." Zugriff am: 9. März 2025. [Online.] Verfügbar: https://methpsy.elearning.psych.tu-dresden.de/mediawiki/index.php/Interne_Validit%C3%A4t
- [44] "Externe Validität – eLearning - Methoden der Psychologie - TU Dresden." Zugriff am: 9. März 2025. [Online.] Verfügbar: https://methpsy.elearning.psych.tu-dresden.de/mediawiki/index.php/Externe_Validit%C3%A4t
- [45] "Konstruktvalidität – eLearning - Methoden der Psychologie - TU Dresden." Zugriff am: 9. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://methpsy.elearning.psych.tu-dresden.de/mediawiki/index.php/Konstruktvalidit%C3%A4t>
- [46] "Statistische Validität | Lehrbuch Psychologie." Zugriff am: 9. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.lehrbuch-psychologie.springernature.com/glossar/statistische-validit%C3%A4t>
- [47] der Spiegel. "Urteil zur Altersgrenze: Piloten müssen mit 65 Jahren in Rente." Zugriff am: 9. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.spiegel.de/karriere/urteil-zur-altersgrenze-piloten-muessen-mit-65-jahren-in-rente-a-1156064.html>
- [48] EASA. "eMCO-SiPO - Extended Minimum Crew Operations – Single Pilot Operations – Safety Risk Assessment Framework | EASA." Zugriff am: 10. März 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.easa.europa.eu/en/research-projects/emco-sipo-extended-minimum-crew-operations-single-pilot-operations-safety-risk>

Anhang

Anhang 1: Inhalte des Vorabfragebogens

| Frage | Antwortmöglichkeiten (durch Kommata getrennt) |
|---|---|
| Welchem Geschlecht ordnen Sie sich zu? | männlich, weiblich, divers, keine Angabe |
| Welcher Altersgruppe gehören Sie an? | 18-24 Jahre, 25-34 Jahre, 35-44 Jahre, 45-54 Jahre, 55-64 Jahre, über 65 Jahre |
| In welchem Bereich sind Sie hauptsächlich fliegerisch tätig? | Linienflugverkehr, Geschäftsflugverkehr, Militärischer Flugbetrieb |
| Seit wie vielen Jahren besitzen Sie Ihre Fluglizenz (ATPL/MPL)? | Zahlenwerteingabe |
| Dient Ihre Tätigkeit der Beförderung von Personen oder Fracht? | Personen (und Fracht), ausschließlich Luftfracht, beides |
| Fliegen Sie überwiegend Kurz-, Mittel- oder Langstrecke? | Kurzstrecke (<800 NM), Mittelstrecke (800 - 2000 NM), Langstrecke (>2000 NM) |
| In welcher Cockpit-Konfiguration fliegen Sie beruflich? | Multi-Pilot Crew (MPC), Single-Pilot Crew (SPC) |
| Wie viele Flugstunden haben Sie insgesamt absolviert? | Zahlenwerteingabe |
| Welcher ist Ihr höchster Dienstgrad? | Captain, Senior First Officer, First Officer, Second Officer, Cruise Relief Pilot |
| Besitzen Sie eine (oder mehrere) der aufgeführten fliegerischen Zusatzqualifikationen? Bitte wählen Sie Ihre Zusatzqualifikation(en) aus? | Class Rating Instructor (CRI), Flight Instructor (FI), Instrument Rating Instructor (IRI), Synthetic Flight Instructor (SFI), Type Rating Instructor (TRI), Test Pilot (Flight Test Rating), Meine Zusatzqualifikation ist nicht aufgeführt, Keine der aufgeführten Zusatzqualifikationen |
| Bitte geben Sie in dieses Feld Ihre oben nicht aufgeführten Zusatzqualifikationen ein: | Texteingabe |
| Welches Flight Test Rating besitzen Sie? (nur bei Auswahl der entsprechenden Zusatzqualifikation) | EASA CAT 1, EASA CAT 2, EASA CAT 3, EASA CAT 4 |
| Sind Sie in einer weiteren (Airline-) Position (z. B. Ausbildung, Safety, Technik, Forschung) tätig? | Ja, Nein |
| Mussten Sie schon einmal von einem geplanten Alternate abweichen oder haben es in Erwägung gezogen (Alternate vom Alternate)? | Ja, Nein |
| Was waren die Gründe für den Wechsel des Alternate-Flughafens? (nur bei positiver Antwort der vorherigen Frage) | Texteingabe |
| Haben Sie bereits an Studien oder ähnlichen Versuchen zur Entwicklung zukünftiger Cockpitinstrumente teilgenommen? (z.B. Honeywell Anthem, Garmin Autonomi) | Ja, Nein |
| Bitte spezifizieren Sie Ihre Erfahrungen mit dem jeweiligen System: (nur bei positiver Antwort der vorherigen Frage) | Texteingabe |

Anhang 2: Inhalte des Abschlussfragebogens

| Frage/Funktion | Antwortmöglichkeiten | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Haben Ihnen die folgenden Funktionen bei Ihrer Entscheidungsfindung im Szenario 1 (zeitunkritischer Rudder Jam) geholfen? | | | | | |
| Funktion | Hat mir geholfen | Hat mir eher geholfen | Hat mir eher nicht geholfen | Hat mir nicht geholfen | Habe ich nicht benutzt |
| Filter Settings | | | | | |
| Aircraft Status | | | | | |
| Numerische Filterung (Histogramme) | | | | | |
| Map Overlays | | | | | |
| Infoboxen | | | | | |
| | | | | | |
| Haben Ihnen die folgenden Funktionen bei Ihrer Entscheidungsfindung im Szenario 2 geholfen? | | | | | |
| Funktion | Hat mir geholfen | Hat mir eher geholfen | Hat mir eher nicht geholfen | Hat mir nicht geholfen | Habe ich nicht benutzt |
| Filter Settings | | | | | |
| Aircraft Status | | | | | |
| Numerische Filterung (Histogramme) | | | | | |
| Map Overlays | | | | | |
| Infoboxen | | | | | |
| Vergleichsansicht | | | | | |
| | | | | | |
| Bitte bewerten Sie die folgenden Aspekte zu den Infoboxen. | | | | | |
| Aussage | Stimme zu | Stimme eher zu | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu | [leer] |
| Ich benötige Informationen über alle vorhandenen Landebahnen des angeklickten Flughafens. | | | | | |
| Es ist ausreichend Informationen zu für die Landung infrage kommenden Landebahnen abfragen zu können | | | | | |
| Es ist ausreichend Informationen zur am besten geeigneten Landebahn abfragen zu können | | | | | |
| Mir muss zu jeder Landebahn des Flughafens klar sein, warum diese nicht geeignet ist (rot hinterlegt) | | | | | |
| Ich empfinde die angegebenen Informationen zum Ausschluss der entsprechenden Landebahn als ausreichend | | | | | |
| Eine graphische Visualisierung der Windrichtung und -stärke in der Infobox halte ich für sinnvoll | | | | | |

| Ich empfinde eine Suchfunktion, die Flughäfen direkt nach ihrem ICAO-Code/Ortsnamen findet und auf der Karte und in der Infobox anzeigt, als hilfreich | | | | | |
|--|---|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|
| Bitte bewerten Sie die folgenden Features im Hinblick auf ihre Benutzerfreundlichkeit | | | | | |
| Funktion | Sehr intuitiv | Eher intuitiv | Eher nicht intuitiv | Nicht intuitiv | Nicht benutzt |
| Filter Settings | | | | | |
| Numerische Filterung (Histogramme) | | | | | |
| Map Overlays | | | | | |
| Infoboxen | | | | | |
| Vergleichsansicht | | | | | |
| Bitte spezifizieren Sie, welche Aspekte dieser Funktionen sie als nicht intuitiv empfanden | Texteingabe bei vorheriger Auswahl eher nicht intuitiv oder nicht intuitiv | | | | |
| Empfänden Sie es als hilfreich, weitere Map Overlays auswählen zu können? Wenn ja, bitte geben Sie an, welche | Auswahlmöglichkeiten ja, nein, habe ich nicht benutzt Texteingabe bei Antwortoption ja möglich | | | | |
| Szenario 1 | | | | | |
| Wie bewerten Sie die Unterstützung des Prototyps bei der Wahl eines Ausweichflughafens im Hinblick auf dieses Szenario? | Gar nicht hilfreich | Nicht hilfreich | Hilfreich | Sehr hilfreich | |
| Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen zur numerischen Filterung (Histogramme) | | | | | |
| Aussage | Stimme zu | Stimme eher zu | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu | Keine Antwort |
| Ich habe die individuellen Filterkriterien in diesem Szenario intensiv genutzt. | | | | | |
| Die Darstellung mithilfe der Histogramme habe ich als hilfreich empfunden. | | | | | |
| Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Histogramme (insbesondere die einzelnen Balken) zusammensetzt. | | | | | |
| Ich hätte mir eine Histogrammdarstellung auch für andere Filterkriterien gewünscht (z.B. Headwindstärke, Runway CC). | | | | | |
| Die kaskadierte Filterung empfand ich als hilfreich. (Bei Nichtnutzung bitte keine Antwort wählen) | | | | | |
| Die Anzeige der verbleibenden Flughäfen mit den entsprechenden Landebahnen halte ich für sinnvoll. | | | | | |

| | | | | | |
|--|------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|
| Eine (visuelle) Verknüpfung zwischen dem Flughafen in der Infobox und den Histogrammen halte ich für sinnvoll. | | | | | |
| Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine größere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint. | | | | | |
| Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine geringere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint. | | | | | |
| Welche zusätzlichen Filterkriterien hätten Ihnen bei der Auswahl eines Ausweichflughafens in diesem Szenario geholfen (z.B. Landebahnbreite)? Bitte nenne Sie diese. | Texteingabe (optional) | | | | |
| Freies Feedback Szenario 1: Nennen Sie gerne Aspekte, die Ihnen bei der Bearbeitung dieses Szenarios besonders aufgefallen sind. | Texteingabe (optional) | | | | |
| Szenario 2 | | | | | |
| Wie bewerten Sie die Unterstützung der GUI bei der Wahl eines Alternates im Hinblick auf dieses Szenario? | Gar nicht hilfreich | Nicht hilfreich | Hilfreich | Sehr hilfreich | |
| Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen zur Vergleichsansicht: | | | | | |
| Aussage | Stimme zu | Stimme eher zu | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu | Keine Antwort |
| Ich habe die Vergleichsansicht in diesem Szenario intensiv genutzt. | | | | | |
| Die Darstellung mithilfe der Balkendiagramme habe ich als hilfreich empfunden. | | | | | |
| Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Balkendiagramme zusammensetzt. | | | | | |
| Die Bedeutung der Richtungen und Farben der Balken war mir zu jeder Zeit klar. | | | | | |
| Die Schritte zur Aktualisierung der Balkendiagramme (schließen der rechten Infobox) empfand ich als umständlich. | | | | | |
| Eine Unterlegung der Balken mit Zahlenwerten halte ich für sinnvoll. | | | | | |
| Ich hätte mir diese Darstellung auch für Szenario 1 gewünscht. | | | | | |
| Es werden zu viele Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt. | | | | | |

| | | | | | |
|--|---|----------------|----------------------|-----------------|--------|
| Es werden zu wenige Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt. | | | | | |
| Eine Zuordnung zwischen Vergleichsansicht und Flughafen mittels Pfeil oder Farbgebung halte ich für sinnvoll. | | | | | |
| Eine Darstellung der Vergleichsansicht direkt am jeweiligen Flughafen in der Karte halte ich für sinnvoll. | | | | | |
| Die bisherige Darstellung in einem separaten Fenster empfinde ich als sinnvoll. | | | | | |
| Ich halte es für ausreichend die Balkendiagramme lediglich für die Top 5 Flughäfen aus dem Ranking anzuzeigen. | | | | | |
| Ich hätte gerne selbst entschieden mit welchen Flughäfen verglichen wird. | | | | | |
| Die Vergleichskriterien der Diagramme hätte ich gerne selbst bestimmt. | | | | | |
| | | | | | |
| Für welche weiteren Kriterien, außer den bereits vorhanden (Stop Margin, Distance, EFOB, Crosswind), hätten Sie sich eine Vergleichsansicht gewünscht? Bitte nennen Sie diese. | Texteingabe, falls vorherige Frage mit stimme zu oder stimme eher zu beantwortet wurde. | | | | |
| | | | | | |
| Stimmen Sie den folgenden Aussagen im Hinblick auf zeitkritische Szenarien zu? | | | | | |
| Aussage | Stimme zu | Stimme eher zu | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu | [leer] |
| Für diese genügt die Ansicht der Vergleichsansicht mit der Karte (ohne Filterfunktionen, Map Overlays und Infoboxen). | | | | | |
| In diesen kann auf die Histogrammdarstellung verzichtet werden. | | | | | |
| In diesen kann auf die numerische Filterung verzichtet werden. | | | | | |
| In diesen werden im Allgemeinen zu viele Informationen angezeigt. | | | | | |
| | | | | | |
| Freies Feedback Szenario 2: Nennen Sie gerne Aspekte, die Ihnen bei der Bearbeitung dieses Szenarios besonders aufgefallen sind. | Texteingabe (optional) | | | | |
| | | | | | |
| Gab es Verzögerungen oder technische Probleme, die Ihre Nutzererfahrung beeinträchtigt haben? Bitte spezifizieren Sie diese. | Ja, Nein, optionale Texteingabe bei Antwort ja | | | | |

| | |
|--|------------------------|
| Hat Ihnen der Prototyp subjektiv eine schnellere Entscheidungsfindung ermöglicht als mit den bisherigen Hilfsmitteln/Anwendungen (z.B. EFB)? | Ja, Nein |
| Freies Feedback: In diesem Feld können Sie abschließende Anmerkungen eingeben. | Texteingabe (optional) |

Anhang 3: Tabelle zur Auswertung des Abschlussfragebogens zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Funktionen

| | Pilot Nr. | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 11 | 13 | 12 | 14 | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert Langstrecke | Mittelwert Kurzstrecke | Differenz | Mittelwert >45 | Mittelwert <45 | Differenz |
|--|-----------|--------------------------------------|---|---|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|-----------|
| Unterstützung bei der Entscheidungsfindung durch die Funktionen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Szenario 1 [Filter Settings] | | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | -1 | 1,38 | 0,84 | 1,8 | 1 | 0,8 | 1,3 | 1,7 | 0,4 |
| Szenario 1 [Aircraft Status] | | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | -1 | 2 | 1 | 1,31 | 0,91 | 1,8 | 1,2 | 0,6 | 1,4 | 1,0 | 0,4 |
| Szenario 1 [Histogramme (EFOB, Crosswind, Distance, Stop Margin)] | | 1 | 2 | 2 | -2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | 0,92 | 1,49 | 1,4 | 1,2 | 0,2 | 0,6 | 2 | 1,4 |
| Szenario 1 [Map Overlays] | | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 2 | 1 | 0,38 | 1,15 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | -0,3 | 0,9 |
| Szenario 1 [Infoboxen] | | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,85 | 0,36 | 1,8 | 2 | 0,2 | 1,9 | 1,7 | 0,2 |
| Szenario 2 [Filter Settings] | | -1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1,38 | 0,84 | 2 | 0,8 | 1,2 | 1,3 | 1,7 | 0,4 |
| Szenario 2 [Aircraft Status] | | 1 | 2 | 2 | -1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | -1 | 2 | 1 | 1,08 | 1,07 | 1,6 | 1,2 | 0,4 | 1,1 | 1,0 | 0,1 |
| Szenario 2 [Histogramme (EFOB, Crosswind, Distance, Stop Margin)] | | -1 | 1 | 2 | -2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | 0,69 | 1,54 | 1,4 | 0,6 | 0,8 | 0,3 | 2 | 1,7 |
| Szenario 2 [Map Overlays] | | -1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 2 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 2 | -1 | 0,48 | 1,22 | 1 | -0,2 | 1,2 | 0,2 | 1,3 | 1,1 |
| Szenario 2 [Vergleichsansicht] | | -1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | -2 | -1 | -1 | -1 | 1 | -2 | 0,00 | 1,36 | 1 | -1 | 2 | -0,1 | 0,3 | 0,4 |
| Szenario 2 [Infoboxen] | | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,85 | 0,36 | 2 | 1,8 | 0,2 | 1,8 | 2 | 0,2 |
| Standardabweichung | | | | | | | | | | | | | | | | | Standardabweichung | Standardabweichung | Standardabweichung | Standardabweichung | | |
| Szenario 1 [Filter Settings] | | Schwarz = keine Angabe/Mittelstrecke | | | | | | | | | | | | | | 0,40 | 1,10 | 0,90 | 0,47 | | | |
| Szenario 1 [Aircraft Status] | | Grün = Langstrecke | | | | | | | | | | | | | | 0,40 | 0,75 | 0,92 | 0,82 | | | |
| Szenario 1 [Histogramme (EFOB, Crosswind, Distance, Stop Margin)] | | Lila = Kurzstrecke | | | | | | | | | | | | | | 1,20 | 1,17 | 1,56 | 0,00 | | | |
| Szenario 1 [Map Overlays] | | Fett =>45 | | | | | | | | | | | | | | 1,20 | 0,98 | 1,11 | 0,94 | | | |
| Szenario 1 [Infoboxen] | | Unterstrichen = <45 | | | | | | | | | | | | | | 0,40 | 0,00 | 0,30 | 0,47 | | | |
| Szenario 2 [Filter Settings] | | | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 0,98 | 0,90 | 0,47 | | | |
| Szenario 2 [Aircraft Status] | | | | | | | | | | | | | | | | 0,49 | 0,75 | 1,14 | 0,82 | | | |
| Szenario 2 [Histogramme (EFOB, Crosswind, Distance, Stop Margin)] | | | | | | | | | | | | | | | | 1,20 | 1,36 | 1,55 | 0,00 | | | |
| Szenario 2 [Map Overlays] | | | | | | | | | | | | | | | | 1,10 | 0,98 | 1,25 | 0,47 | | | |
| Szenario 2 [Vergleichsansicht] | | | | | | | | | | | | | | | | 1,10 | 1,10 | 1,22 | 1,70 | | | |
| Szenario 2 [Infoboxen] | | | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 0,40 | 0,40 | 0,00 | | | |

Anhang 4: Tabelle zur Auswertung des Abschlussfragebogens Teil 2

| | Pilot Nr. | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 11 | 13 | 12 | 14 | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert Langstrecke | Mittelwert Kurzstrecke | Differenz | Mittelwert >45 | Mittelwert <45 | Differenz |
|---|-----------|--------------------------------------|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|-----------|
| Kodierung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ich benötige Informationen über alle vorhandenen Landebahnen des angeklickten Flughafens. | | 2 | -1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | -1 | 1 | 2 | -1 | -1 | 2 | 0,92 | 1,33 | 1,8 | 0,6 | 1,2 | 0,9 | 1,00 | 0,1 |
| Es ist ausreichend Informationen zu für die Landung infrage kommenden Landebahnen abfragen zu können. | | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2 | 2 | 2 | -2 | 1 | 2 | -1 | 0,62 | 1,33 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,67 | 0,1 |
| Es ist ausreichend Informationen zur am besten geeigneten Landebahn abfragen zu können | | -2 | 1 | -1 | -1 | -2 | 2 | 1 | -1 | -1 | -2 | 1 | 1 | -1 | -0,38 | 1,33 | -0,4 | -0,8 | 0,4 | -0,1 | -1,33 | 1,2 |
| Mir muss zu jeder Landebahn des Flughafens klar sein, warum diese nicht geeignet ist (rot hinterlegt). | | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | -2 | 1 | 1 | 2 | -1 | -1 | 1 | 0,85 | 1,29 | 1 | 1,4 | 0,4 | 0,7 | 1,33 | 0,6 |
| Ich empfinde die angegebenen Informationen zum Ausschluss der entsprechenden Landebahn als ausreichend. | | -1 | 2 | 2 | -1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | -1 | 1 | 2 | -1 | 0,85 | 1,29 | 1,2 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,33 | 0,6 |
| Eine graphische Visualisierung der Windrichtung und -stärke in der Infobox halte ich für sinnvoll | | 1 | -1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,62 | 1,15 | 1,2 | 0,2 | 1 | 0,5 | 1,00 | 0,5 |
| Ich empfinde eine Suchfunktion, die Flughäfen direkt nach ihrem ICAO-Code/Ortsnamen findet und auf der Karte und in der Infobox anzeigt, als hilfreich. | | 2 | 2 | -1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | -2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1,15 | 1,23 | 1 | 1,2 | 0,2 | 1,2 | 1,00 | 0,2 |
| Standardabweichung | | | | | | | | | | | | | | | | | Standardabweichung | Standardabweichung | Standardabweichung | Standardabweichung | | |
| Ich benötige Informationen über alle vorhandenen Landebahnen des angeklickten Flughafens. | | | | | | | | | | | | | | | | 0,4 | 1,36 | 1,30 | 1,41 | | | |
| Es ist ausreichend Informationen zu für die Landung infrage kommenden Landebahnen abfragen zu können. | | | | | | | | | | | | | | | | 1,5 | 1,36 | 1,36 | 1,25 | | | |
| Es ist ausreichend Informationen zur am besten geeigneten Landebahn abfragen zu können | | Schwarz = keine Angabe/Mittelstrecke | | | | | | | | | | | | | | 1,6 | 0,98 | 1,37 | 0,47 | | | |
| Mir muss zu jeder Landebahn des Flughafens klar sein, warum diese nicht geeignet ist (rot hinterlegt). | | Grün = Langstrecke | | | | | | | | | | | | | | 1,5 | 0,49 | 1,42 | 0,47 | | | |
| Ich empfinde die angegebenen Informationen zum Ausschluss der entsprechenden Landebahn als ausreichend. | | Lila = Kurzstrecke | | | | | | | | | | | | | | 1,2 | 1,36 | 1,42 | 0,47 | | | |
| Eine graphische Visualisierung der Windrichtung und -stärke in der Infobox halte ich für sinnvoll | | Fett =>45 | | | | | | | | | | | | | | 1,2 | 0,88 | 1,02 | 1,41 | | | |
| Ich empfinde eine Suchfunktion, die Flughäfen direkt nach ihrem ICAO-Code/Ortsnamen findet und auf der Karte und in der Infobox anzeigt, als hilfreich. | | Unterstrichen =< 45 | | | | | | | | | | | | | | 1,1 | 1,60 | 1,17 | 1,41 | | | |

Anhang 5: Tabelle zur Auswertung des Abschlussfragebogens Teil 3

| Kodierung | Pilot Nr. | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 11 | 13 | 12 | 14 | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert Langstrecke | Mittelwert Kurzstrecke | Differenz | Mittelwert >45 | Mittelwert <45 | Differenz |
|---|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| [Ich habe die individuellen Filterkriterien in diesem Szenario intensiv genutzt.] | | -1 | 1 | 2 | -2 | -1 | 1 | 2 | 2 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | 0,38 | 1,50 | 0,8 | 0,6 | 0 | 0,2 | 1,00 | 0,8 |
| [Die Darstellung mithilfe der Histogramme habe ich als hilfreich empfunden.] | | -2 | 2 | 2 | -2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | -1 | -1 | 2 | -2 | 0,31 | 1,73 | 1,2 | -0,2 | 1,4 | -0,2 | 2,00 | 2,2 |
| [Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Histogramme (insbesondere die einzelnen Balken) zusammensetzt.] | | -1 | 2 | 2 | -2 | 2 | 2 | 1 | 2 | -1 | 2 | -1 | 2 | 1 | 0,85 | 1,46 | 1,8 | 0,6 | 1,2 | 0,5 | 2,00 | 1,5 |
| [Ich hätte mir eine Histogrammdarstellung auch für andere Filterkriterien gewünscht (z.B. Headwindstärke, Runway CC).] | | 1 | -2 | 1 | 1 | 2 | -1 | 1 | 1 | -2 | 2 | -1 | -1 | 0 | 0,15 | 1,35 | 1 | -0,4 | 1,4 | -0,2 | 1,33 | 1,5 |
| [Die kaskadierte Filterung empfand ich als hilfreich. (Bei Nichtnutzung bitte keine Antwort wählen)] | | 0 | 0 | 1 | -2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | -1 | 2 | 0 | 0 | 0,54 | 1,22 | 1 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 1,67 | 1,5 |
| [Die Anzeige der verbleibenden Flughäfen mit Landebahnen halte ich für sinnvoll.] | | 1 | 2 | 2 | -2 | -1 | 1 | -1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0,82 | 1,33 | 0,6 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,00 | 0,8 |
| [Eine (visuelle) Verknüpfung zwischen dem Flughafen in der Infobox und den Histogrammen halte ich für sinnvoll.] | | -1 | -1 | 1 | -2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0,69 | 1,20 | 1,6 | 0,2 | 1,4 | 0,5 | 1,33 | 0,8 |
| [Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine größere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint.] | | -1 | 1 | -2 | -2 | 1 | 2 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | -1 | -0,31 | 1,20 | 0 | -0,6 | 0,6 | -0,2 | -0,67 | 0,5 |
| [Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine geringere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint.] | | 1 | -1 | 2 | -2 | -1 | -1 | 1 | -1 | 2 | -1 | 0 | 1 | -2 | -0,15 | 1,35 | 0 | -0,2 | 0,2 | -0,2 | 0,00 | 0,2 |
| Standardabweichung | | | | | | | | | | | | | | | | | Standardabweichung | Standardabweichung | | Standardabweichung | Standardabweichung | |
| [Ich habe die individuellen Filterkriterien in diesem Szenario intensiv genutzt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,36 | 1,36 | | 1,47 | 1,41 | |
| [Die Darstellung mithilfe der Histogramme habe ich als hilfreich empfunden.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,17 | 1,83 | | 1,66 | 0,00 | |
| [Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Histogramme (insbesondere die einzelnen Balken) zusammensetzt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,40 | 1,36 | | 1,50 | 0,00 | |
| [Ich hätte mir eine Histogrammdarstellung auch für andere Filterkriterien gewünscht (z.B. Headwindstärke, Runway CC).] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,10 | 1,36 | | 1,33 | 0,47 | |
| [Die kaskadierte Filterung empfand ich als hilfreich. (Bei Nichtnutzung bitte keine Antwort wählen)] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,89 | 0,80 | | 1,17 | 0,47 | |
| [Die Anzeige der verbleibenden Flughäfen mit Landebahnen halte ich für sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,36 | 0,98 | | 1,25 | 1,41 | |
| [Eine (visuelle) Verknüpfung zwischen dem Flughafen in der Infobox und den Histogrammen halte ich für sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,49 | 0,98 | | 1,28 | 0,47 | |
| [Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine größere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,41 | 0,80 | | 1,17 | 1,25 | |
| [Die Histogramme haben mich dazu bewegt meine Eingaben so anzupassen, dass eine geringere Anzahl an Flughäfen auf der Karte erscheint.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,26 | 1,47 | | 1,33 | 1,41 | |

Anhang 6: Tabelle zur Auswertung des Abschlussfragebogens Teil 4

| Kodierung | Pilot Nr. | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 11 | 13 | 12 | 14 | Mittelwert | Standardabweichung | Mittelwert Langstrecke | Mittelwert Kurzstrecke | Differenz | Mittelwert >45 | Mittelwert <45 | Differenz |
|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| [Ich habe die Vergleichsansicht in diesem Szenario intensiv genutzt.] | | -1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | -1 | -2 | -2 | 1 | -2 | 1 | -1 | -0,2 | 1,3 | 0,8 | -1 | 1,8 | -0,3 | 0,33 | 0,6 |
| [Die Darstellung mithilfe der Balkendiagramme habe ich als hilfreich empfunden.] | | -1 | -1 | 0 | -1 | 2 | -1 | -2 | -2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -2 | -0,4 | 1,4 | 0,6 | -1,6 | 2,2 | -0,4 | -0,33 | 0,1 |
| [Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Balkendiagramme zusammensetzt.] | | 1 | -1 | 0 | 1 | 2 | -1 | -2 | -2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,3 | 1,3 | 1 | -0,6 | 1,6 | 0,3 | 0,33 | 0,0 |
| [Die Bedeutung der Richtungen und Farben der Balken war mir zu jeder Zeit klar.] | | 1 | -2 | 0 | -1 | 2 | -1 | -2 | -2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0,2 | 1,5 | 0,6 | -0,6 | 1,2 | 0,3 | -0,33 | 0,6 |
| [Die Schritte zur Aktualisierung der Balkendiagramme (schließen der rechten Infobox) empfand ich als umständlich.] | | 1 | -1 | -2 | 0 | 2 | -1 | 1 | -1 | -2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0,2 | 1,4 | 0,4 | -0,2 | 0,6 | 0,3 | -0,33 | 0,6 |
| [Eine Unterlegung der Balken mit Zahlenwerten halte ich für sinnvoll.] | | 1 | -1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | -2 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,4 | 1,2 | 1 | 0 | 1 | 0,4 | 0,33 | 0,1 |
| [Ich hätte mir diese Darstellung auch für Szenario 1 gewünscht.] | | 1 | -2 | 2 | 0 | 1 | 1 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 | 1 | -2 | -0,4 | 1,4 | 0,4 | -1,4 | 1,8 | -0,6 | 0,33 | 0,9 |
| [Es werden zu viele Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt.] | | -1 | -2 | 0 | 0 | -2 | -2 | 2 | 1 | -2 | -2 | 1 | -1 | 1 | -0,5 | 1,4 | -0,8 | -0,6 | 0,2 | -0,6 | -0,33 | 0,3 |
| [Es werden zu wenige Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt.] | | -1 | -2 | -1 | 0 | 1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | -2 | -1,2 | 0,9 | -1 | -1,8 | 0,8 | -1,4 | -0,67 | 0,7 |
| [Eine Zuordnung zwischen Vergleichsansicht und Flughafen mittels Pfeil oder Farbgebung halte ich für sinnvoll.] | | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1,1 | 0,7 | 1,4 | 1,2 | 0,2 | 1 | 1,33 | 0,3 |
| [Eine Darstellung der Vergleichsansicht direkt am jeweiligen Flughafen in der Karte halte ich für sinnvoll.] | | -2 | -1 | 1 | 0 | 1 | 1 | -1 | -1 | -2 | -2 | 1 | -1 | 0 | -0,5 | 1,2 | 0 | -1,2 | 1,2 | -0,7 | 0,33 | 1,0 |
| [Die bisherige Darstellung in einem separaten Fenster empfinde ich als sinnvoll.] | | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 0,5 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,2 | 0,4 | 1,00 | 0,6 |
| [Ich halte es für ausreichend die Balkendiagramme lediglich für die Top 5 Flughäfen aus dem Ranking anzuzeigen.] | | 1 | -2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 1,1 | 1,2 | -0,4 | 1,6 | 0,5 | 0,33 | 0,2 |
| [Ich hätte gerne selbst entschieden mit welchen Flughäfen verglichen wird.] | | 1 | -2 | -2 | 0 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 2 | 0,1 | 1,3 | -0,4 | 0,6 | 1 | 0,1 | 0,00 | 0,1 |
| [Die Vergleichskriterien der Diagramme hätte ich gerne selbst bestimmt.] | | 1 | -2 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | -2 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -0,7 | 1,1 | -0,4 | -1 | 0,6 | -0,7 | -0,67 | 0,0 |
| Standardabweichung | | | | | | | | | | | | | | | | | Standardabweichung | Standardabweichung | | Standardabweichung | Standardabweichung | |
| [Ich habe die Vergleichsansicht in diesem Szenario intensiv genutzt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,0 | 1,1 | | 1,2 | 1,7 | |
| [Die Darstellung mithilfe der Balkendiagramme habe ich als hilfreich empfunden.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,4 | 0,5 | | 1,3 | 1,7 | |
| [Mir war zu jeder Zeit klar, wie sich der Inhalt der Balkendiagramme zusammensetzt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,1 | 1,4 | | 1,2 | 1,7 | |
| [Die Bedeutung der Richtungen und Farben der Balken war mir zu jeder Zeit klar.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,4 | 1,7 | | 1,4 | 1,7 | |
| [Die Schritte zur Aktualisierung der Balkendiagramme (schließen der rechten Infobox) empfand ich als umständlich.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,6 | 1,5 | | 1,3 | 1,7 | |
| [Eine Unterlegung der Balken mit Zahlenwerten halte ich für sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,1 | 1,3 | | 1,0 | 1,7 | |
| [Ich hätte mir diese Darstellung auch für Szenario 1 gewünscht.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2 | 1,2 | | 1,2 | 1,7 | |
| [Es werden zu viele Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,6 | 1,4 | | 1,4 | 1,2 | |
| [Es werden zu wenige Flughäfen in der Vergleichsansicht angezeigt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,1 | 0,4 | | 0,7 | 1,2 | |
| [Eine Zuordnung zwischen Vergleichsansicht und Flughafen mittels Pfeil oder Farbgebung halte ich für sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,5 | 0,7 | | 0,8 | 0,5 | |
| [Eine Darstellung der Vergleichsansicht direkt am jeweiligen Flughafen in der Karte halte ich für sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,3 | 0,7 | | 1,1 | 0,9 | |
| [Die bisherige Darstellung in einem separaten Fenster empfinde ich als sinnvoll.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,8 | 1,0 | | 1,0 | 0,0 | |
| [Ich halte es für ausreichend die Balkendiagramme lediglich für die Top 5 Flughäfen aus dem Ranking anzuzeigen.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,4 | 1,2 | | 1,1 | 0,9 | |
| [Ich hätte gerne selbst entschieden mit welchen Flughäfen verglichen wird.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2 | 1,4 | | 1,2 | 1,4 | |
| [Die Vergleichskriterien der Diagramme hätte ich gerne selbst bestimmt.] | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2 | 1,1 | | 1,0 | 1,2 | |