

DLR-PROJEKT NICO: VORLÄUFIGE AUSWERTUNG EINER ONLINE-PILOTENSTUDIE ZUR ENTSCHEIDUNGSFINDUNG BEI DER AUSWAHL EINES AUSWEICHFLUGHAFENS

G. Schmitz*, J.-P. Buch*

* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig

Zusammenfassung

Zur Ableitung von Anforderungen an ein zukünftiges Assistenzsystem zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung in Bezug auf die Auswahl des bestmöglichen Ausweichflughafens wurde eine Studie mit elf Piloten durchgeführt. Im Rahmen der Studie wurden zwei Fallbeispiele mit Fokus auf der Informationsbeschaffung, Analyse und Entscheidungsfindung im Fehlerfall durchgegangen. Die Fallbeispiele sind als statische Szenarien ohne Zeitdruck konzipiert, um den Entscheidungsfindungsprozess im Detail zu analysieren und dienen gleichzeitig als Diskussionsgrundlage für weitere Unterstützungsmöglichkeiten.

In diesem Paper werden die vorläufigen Erkenntnisse aus der Studie vorgestellt. Dazu werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Entscheidungsfindungsprozess der Piloten analysiert und ausgewertet. Mit Hilfe der Antworten eines zugehörigen Fragebogens wird der Einfluss von Hintergrundwissen, persönlichen Präferenzen und Erfahrung der Piloten auf den gesamten Prozess von der Informationsbeschaffung über die Analyse zur finalen Entscheidung eingeordnet.

Keywords

Entscheidungsfindung; Einzelpiloten; FORDEC; Assistenzfunktionen

NOMENKLATUR

Abkürzungen

AIP	Aeronautical Information Publication
ATC	Air Traffic Control
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATPL	Airline Transport Pilot Licence
AVES	Air Vehicle Simulator
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring
EFB	Electronic Flight Bag
FCOM	Flight Crew Operating Manual
FORDEC	Facts, Options, Risks & Benefits, Decision, Execution, Check
ILS	Instrument Landing System
LDA	Landing Distance Available
LDR	Landing Distance Required
NICO	Next Generation Intelligent Cockpit
NOTAM	Notice To Airmen
PIOSEE	Problem, Information, Options, Select, Execute, Evaluate

QRH	Quick Reference Handbook
SPO	Single Pilot Operations
TAF	Terminal Aerodrome Forecast
UTC	Universal Time Coordinated

1. EINLEITUNG

Das DLR-Projekt NICO (Next Generation Intelligent Cockpit) bewertet die Durchführbarkeit von Single Pilot Operations (SPO) und untersucht neue Systemfunktionen zur Unterstützung und Entlastung der Piloten in Phasen hoher Arbeitsbelastung. Eine Herausforderung von SPO ist das Fehlermanagement beim Auftreten von technischen Defekten, welches höchste Anforderungen an die Besatzung stellt. Je nach Systemfehler müssen in kürzester Zeit die Auswirkungen des Fehlers bestimmt sowie zahlreiche Informationen abgefragt und bewertet werden, um eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Dabei wird die Besatzung durch Methoden wie FORDEC unterstützt, um in kritischen Situationen möglichst schnelle und reflektierte Entscheidungen zu treffen. Die Buchstaben des Akronyms FORDEC bezeichnen die sechs Schritte der Methode (Facts, Options, Risks & Benefits, Decision, Execution, Check). Weitere Unterstützung während des Managements von Systemfehlern und technischen Defekten und allen damit verbundenen Entscheidungen kann durch eine automa-

tisierte Bereitstellung der in der jeweiligen Situation relevanten Informationen erzielt werden. Ein solches Assistenzsystem kann auch in einem Zwei-Mann-Cockpit verwendet werden, um die Besatzung zu entlasten. Herausforderungen liegen darin, die jeweils relevanten Informationen zu identifizieren, sie geeignet aufzubereiten und für die Besatzung verständlich und übersichtlich darzustellen. Für die Entwicklung eines Systems zur Unterstützung der Besatzung bei der Entscheidungsfindung ist es außerdem wichtig zu verstehen, nach welchen Kriterien und mit welcher Gewichtung dieser Kriterien ein Ausweichflughafen ausgewählt wird, um den Piloten eine Vorauswahl geeigneter Flughäfen präsentieren zu können. Systeme, die Ausweichoptionen anhand verschiedener Kriterien bewerten und eine explizite Rangfolge von Ausweichflughäfen oder einzelnen Landebahnen erstellen, wurden beispielsweise von Dao et al. [1] und Grzybowski et al. [2] entwickelt und untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Piloten den Empfehlungen aufgrund fehlender Transparenz des Systems nicht immer vertrauten [1].

Persönliche Präferenzen, Hintergrundwissen und Erfahrung der Besatzung können zu abweichenden Bewertungen der Optionen von Ausweichflughäfen und letztendlich sogar zu anderen Entscheidungen führen, sodass eine individuelle Anpassung des Assistenzsystems an die Bedürfnisse der Besatzung sinnvoll sein kann. Dies kann sowohl die Art und Weise der Informationsaufbereitung und -darstellung als auch Interaktionsmöglichkeiten betreffen.

Zur Ableitung von Anforderungen an ein zukünftiges Assistenzsystem zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung in Bezug auf die Auswahl des bestmöglichen Ausweichflughafens wurde eine Studie mit elf Piloten durchgeführt.

2. STUDIENBESCHREIBUNG

Die Studie umfasste die Durchführung von zwei Fallbeispielen in Form statischer Szenarien und die Beantwortung von zwei begleitenden Fragebögen zur Einordnung von Hintergrundwissen, persönlichen Präferenzen und Erfahrungen.

2.1. Fragebogen

Der erste Fragebogen beinhaltete Fragen zur Erhebung demographischer Daten (Alter und Geschlecht) sowie Fragen zur persönlichen Flugerfahrung und wurde den Piloten vorab zugeschickt. Mit dem zweiten Fragebogen wurde im Nachgang die Bekanntheit der Flughäfen aus den Szenarien abgefragt. Außerdem wurden die Piloten gebeten, verschiedene Kriterien, die bei der Wahl eines Ausweichflughafens relevant sein können, entsprechend ihrer persönlichen Einschätzung hinsichtlich der Relevanz bei der Entscheidungsfindung zu sortieren. Dabei erfolgte eine getrennte Befragung für beide Szenarien. Des Weiteren sollten die Piloten ausgewählte Kriterien (Seitenwind, Treibstoffreserve und Stoppmarge) anhand konkreter Zahlenwerte in drei Bereiche (z. B. Seitenwind ist schwach, mittel, stark) einteilen und jeweils einen persönlichen Grenzwert angeben.

2.2. Fallbeispiele

Um den Entscheidungsfindungsprozess von der Informationsbeschaffung über die Analyse der Informationen zur finalen Entscheidung im Detail zu analysieren und mögliche Unterstützungsmöglichkeiten zu identifizieren, wurden mit den Piloten jeweils zwei Szenarien als Fallbeispiele durchgesprochen. Als Grundlage diente jeweils ein hypothetischer Linienflug, in dessen Verlauf ein Systemfehler auftrat, der eine Entscheidung der Piloten bezüglich der Fortführung des Fluges erforderlich machte. Details über die ausgewählten Systemfehler und weitere Informationen zum Entwurf der Szenarien werden im Abschnitt des jeweiligen Szenarios beschrieben.

Aufgrund des Fokus auf der Entscheidungsfindung waren die Fallbeispiele als statische Szenarien ohne Zeitdruck konzipiert. Die Steuerung und Überwachung des Flugzeugs sowie die Durchführung von Navigations- und Kommunikationsaufgaben (z. B. Informieren der Kabinencrew) können den Entscheidungsfindungsprozess verzögern oder unterbrechen, standen jedoch nicht im Fokus dieser Analyse. Aus diesem Grund wurde auf eine Durchführung der Studie im A320-Simulator AVES verzichtet, sodass auch Piloten anderer Flugzeugmuster an der Studie teilnehmen konnten. Stattdessen wurden die Szenarien interaktiv mit Hilfe eines Online-Whiteboards [3] im Rahmen einer Telefonkonferenz durchgegangen. Außerdem wurde die Studie mit jedem Piloten einzeln durchgeführt, um möglichst viele unbeeinflusste Einzelentscheidungen beobachten zu können. Darüber hinaus konnte der Koordinationsaufwand reduziert werden, indem auf die Zusammenstellung realistischer Crew-Zusammensetzungen verzichtet werden konnte. Gleichzeitig konnten Besonderheiten der Entscheidungen von Ein-Personen-Crews analysiert werden, auch wenn die teilnehmenden Piloten für den Einsatz in einem Zwei-Personen-Cockpit mit klassischer Aufgabenteilung zwischen den beiden Besatzungsmitgliedern ausgebildet waren.

2.2.1. Ablauf

Zur Vorbereitung erhielten die Piloten ein paar Tage vor Beginn der Studie für jedes Szenario ein umfangreiches Briefing-Paket bestehend aus einem Flugplan (Operational Flight Plan), Auszügen aus dem Luftfahrthandbuch (Aeronautical Information Publication, AIP) mit allen Informationen vom Start- und Zielflughafen und allen geplanten Ausweichflughäfen (Alternates) sowie eine Übersichtskarte mit allen im Szenario existierenden Flughäfen. Die Auswahl der Flughäfen wird im Abschnitt des jeweiligen Szenarios beschrieben. Der Flugplan wurde mit dem SimBrief Dispatch System [4] erstellt. Neben der Treibstoff- und Gewichtsplanung (Weight & Balance) enthielt er alle für den Flug relevanten Anordnungen und Informationen über temporäre oder auch permanente Änderungen des Luftfahrthandbuchs (Notice to Airmen, NOTAM). Außerdem waren alle relevanten Wetterinformationen sowie eine weitere Kartendarstellung der Flugroute mit Höhenwinden und signifikantem Wetter entlang der Route in dem Flugplan enthalten.

Zu Beginn der Szenarien wurde einleitend der Verlauf des Fluges bis zum Auftreten des Fehlers anhand der Übersichtskarte durchgesprochen und die Situation zum Beginn des Szenarios vorgestellt. Dabei wurde auf Abweichungen vom geplanten Flugverlauf (z. B. Freigabeänderungen durch die Flugsicherung) eingegangen und der Systemfehler des Szenarios vorgestellt. Die Position des Flugzeugs und der Flugzustand (u. a. Höhe, Geschwindigkeit, Masse und verfügbarer Treibstoff) wurden in der Karte ergänzt. Eine zusammenfassende Darstellung des Systemzustands, vergleichbar mit der System Status-Anzeige des Electronic Centralized Aircraft Monitoring-Systems (ECAM) von Airbus, informierte die Piloten über alle Auswirkungen des Systemfehlers. Hier waren wichtige Hinweise und Einschränkungen für den weiteren Flugverlauf sowie eine Liste aller ausgefallenen Systeme dargestellt. Eine beispielhafte Darstellung der Informationen auf dem Online-Whiteboard zeigt Bild 1. Neben der Übersichtskarte (grün) und dem Systemzustand (rot) ist auf dem Online-Whiteboard der Flugplan (blau) und eine Wetterkarte (orange) vorhanden.

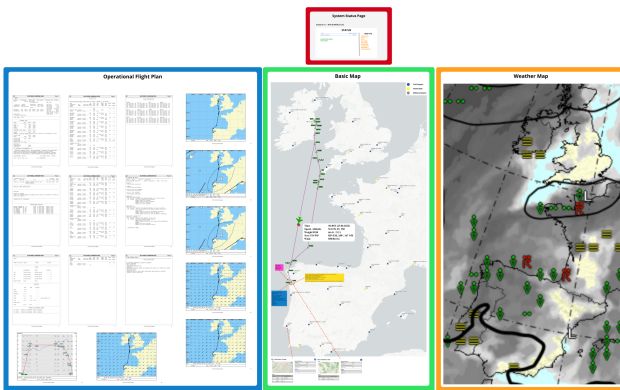


BILD 1. Beispielhafte Darstellung der Informationen auf dem Online-Whiteboard (Flugplan [4]: blau, Übersichtskarte: grün, Systemzustand: rot, Wetterkarte vom Deutschen Wetterdienst: orange)

Nach der Einführung hatten die Piloten die Möglichkeit, alle für sie relevanten Informationen abzufragen, um zu einer bestmöglichen Entscheidung bezüglich der Fortführung des Fluges zu gelangen. Alle Informationen konnten in normaler Sprache (ohne Verwendung von Sprechgruppen und Phrasen des Sprechfunkverkehrs) über den Audiokanal der Telefonkonferenz abgefragt werden und wurden daraufhin auf das Conceptboard kopiert (farbige Textboxen in der Übersichtskarte in Bild 1). Die folgenden Informationen konnten für jeden Flughafen abgefragt werden:

- Flughafeninformationen (Bahndaten und NOTAMs)
- Wetterinformationen (ATIS)
- Wetter-Prognosen (TAF)
- Reichweite und Entfernungen
- Performance-Daten (voraussichtliche Treibstoffmenge bzw. Masse bei Ankunft)
- Auszüge aus der AIP (Allgemeine Informationen, Anflug- bzw. Flughafenkarten)

Für Detailinformationen zum Systemfehler und zur Bestimmung der benötigten Landedistanzen konnte eben-

falls der entsprechende Auszug aus den Flughandbüchern (Flight Crew Operating Manual, FCOM [5] bzw. Quick Reference Handbook, QRH [6]) abgefragt werden.

Die Piloten wurden aufgefordert, laut zu denken und Entscheidungen möglichst nachvollziehbar zu begründen. Aufgrund des Fokus auf der Entscheidungsfindung wurde von den Piloten nicht gefordert, sämtliche Handlungen im Cockpit anzusagen. Sie hatten allerdings die Möglichkeit, alle für sie wichtigen Aktionen und relevanten Informationen anzusprechen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit sollten die Piloten auf den Einsatz weiterer Hilfsmittel wie die Nutzung von Electronic Flight Bag-Anwendungen (EFB-Anwendungen) verzichten.

Um die Entscheidungsfindung der Piloten nicht zu beeinflussen, wurde während der Szenarien nach Möglichkeit auf Zwischenfragen seitens der Versuchsleitung verzichtet. Rückfragen zur Auswahl und Bewertung von Flughäfen und getroffenen Entscheidungen erfolgten in einem Debriefing im Anschluss an die Szenarien. Dabei wurde im lockeren Austausch über die Szenarien, bestehende Unterstützungssysteme und angedachte Assistenzfunktionen diskutiert. Eine ausführliche Beschreibung der Studiendurchführung sowie die Vor- und Nachteile einer online durchgeführten Pilotenstudie werden in einer separaten Veröffentlichung [7] vorgestellt.

2.2.2. Szenario 1: Dublin - Vigo

Das erste Szenario basierte auf einem Flug mit einer Airbus A320 von Dublin (Irland) nach Vigo (Nordspanien). Über der Biskaya, etwa 300 NM verbleibende Flugstrecke bis Vigo, fiel der grüne Hydraulikkreislauf aufgrund eines Verlusts von Hydraulikflüssigkeit aus (A320-Fehler: HYD G RSVR LO LVL). Durch die Redundanz des Hydrauliksystems war der Fehler nicht zeitkritisch, allerdings bestand ein gewisses Risiko, dass ein zweiter Hydraulikkreislauf ausfallen und der Fehler zeitkritisch würde. Bei einem doppelten Hydraulikfehler sieht das Notfallverfahren eine schnellstmögliche Landung vor [5]. Eine Besonderheit ist die alleinige Versorgung des Fahrwerks durch den grünen Hydraulikkreislauf. Ein Ausfall sorgt dafür, dass das Fahrwerk nur noch über die Schwerkraft ausgefahren und anschließend nicht mehr eingefahren werden kann. Durch den erhöhten Treibstoffbedarf bei ausgefahrenem Fahrwerk reduziert sich die Reichweite, sodass sich die Piloten mit dem Ausfahren des Fahrwerks auf eine Region festlegen. Außerdem fällt die Bugradlenkung aus, sodass die Kriterien Seitenwind, Bahnzustand und Bahnweite möglicherweise stärker ins Gewicht fallen.

Die Position des Flugzeugs beim Auftreten des Fehlers wurde so gewählt, dass alle Flughäfen nahezu halbkreisförmig darum angeordnet waren und mögliche Ausweichflughäfen in verschiedenen Flugrichtungen gelegen waren. Aufgrund der hohen Flughafendichte in Europa wurde die Anzahl der Flughäfen auf eine Auswahl reduziert, um den Arbeitsaufwand zur Vorbereitung potenziell abgefragter Informationen zu verringern und die Wahlmöglichkeiten der Piloten zur einfacheren Analyse der Gewichtung von Bewertungskriterien auf wenige Flughäfen zu beschränken. Bei der Auswahl wurde

darauf geachtet, möglichst vielfältige Kombinationen der Ausprägung potenzieller Bewertungskriterien (z. B. Niederschlagsart- und Intensität, Seitenwind, Böen, signifikante Wettererscheinungen, Bahnlänge und -breite, Ausstattung und Größe) zu berücksichtigen. Die Wahl der Flugroute am westlichen Rand von Europa reduzierte ebenfalls die Anzahl potenzieller Ausweichflughäfen. Einzelne Flughäfen wurden als Heimatflughafen der Airline deklariert um den Einfluss wirtschaftlicher Faktoren, wie die Verfügbarkeit von Airline-Personal für Wartungsarbeiten und Passagierabfertigung oder vorhandene Anschlussflüge, zu untersuchen. Alle im Szenario verfügbaren Flughäfen können Bild 6 im Anhang entnommen werden.

Als geplanter Ausweichflughafen wurde Lissabon ausgewählt, um zu untersuchen, welchen Einfluss die Entfernung bei der Auswahl spielt. Lissabon lag in Verlängerung der Flugroute und war vom gewählten Fehlerpunkt ähnlich weit entfernt wie der Startflughafen in Dublin. Das Szenariowetter basierte auf dem realen Wetter vom 23.06.2022 um 06:00 Uhr (UTC) [8]. Regen und Gewitter bestimmten das Wetter im Nordwesten von Spanien und in der Bretagne. In Vigo gab es Nebel und die Sichtbedingungen lagen an der Grenze zu CAT-III-Bedingungen. Für mehr Variation in den Winddaten wurden die Windgeschwindigkeiten verdoppelt und die Geschwindigkeiten von Böen mit dem Faktor 1,5 multipliziert.

2.2.3. Szenario 2: Bilbao - Dublin

Das zweite Szenario basierte auf einem Flug (A320) von Bilbao (Spanien) nach Dublin (Irland). Kurz vor dem Landeanflug (am Initial Approach Fix Oslex) blockierten beim Ausfahren der ersten Stufe der Hochauftriebshilfen die Slats und aktivierten die Wing Tip Brake (A320-Fehler: F/CTL SLATS FAULT/LOCKED). Die Slats konnten weder eingefahren noch weiter ausgefahren werden und sorgten für einen erhöhten Treibstoffverbrauch. Die Nordbahn (10L/28R) von Dublin befand sich zum Zeitpunkt des Szenarios noch in der Testphase mit eingeschränktem ILS-Betrieb (nur CAT-I), während Baumaßnahmen die verfügbare Bahnlänge auf der Südbahn (10R/28L) reduzierten (NOTAM), sodass bei einer Landung bedingt durch den Fehler und die vorherrschende Wettersituation nur wenig verbleibende Bahnlänge (Stoppmarge) blieb.

Das Szenariowetter war angelehnt an das reale Wetter vom 28.06.2022 um 06:00 Uhr (UTC) [8]. Im Norden und der Mitte Irlands gab es verbreitet starken Regen. In Richtung Südwesten von Irland und im Norden Großbritanniens war der Regen schwächer. In Irland herrschte verbreitet starker Wind mit Böen bis zu 29 kts. Nur in Dublin, Charlestown und Kerry war der Wind schwächer und ohne Böen. In Dublin und Manchester sorgte Nebel für schlechte Sicht und verhinderte damit eine Landung auf der Nordbahn von Dublin.

Als Ausweichflughäfen wurden Kerry und Manchester geplant. Trotz der widrigen Wetterverhältnisse wurde die mitgeführte Treibstoffmenge knapp bemessen, sodass es sich aufgrund des erhöhten Treibstoffbedarfs durch die blockierten Slats um ein zeitkritisches Szenario handelte.

Anders als im ersten Szenario war die Auswahl an Ausweichflughäfen durch die verbleibende Reichweite stark eingeschränkt und es gab keinen Flughafen mit optimalen Bedingungen. Die Piloten mussten einen Kompromiss eingehen und konnten abwägen zwischen verschiedenen Kombinationen aus schlechter Sicht durch Nebel, kurzer Bahnlänge (geringer Stoppmarge), Seitenwind und starken Böen, sehr nassem Bahnzustand durch starken Regen und geringer Treibstoffreserve für mögliche Durchstartmanöver aufgrund der Entfernung des Flughafens.

2.3. Teilnehmer

Die Studie wurde mit elf Piloten verschiedener Airlines im Alter von 34 bis 60 Jahren durchgeführt. Den Vorabfragebogen füllten davon zehn Piloten aus und den Abschlussfragebogen neun Piloten, sodass die Auswertung der Fragebögen nicht alle Piloten der Studie einschließt. Das Durchschnittsalter betrug 46 Jahre. Alle Piloten waren im zivilen Linienflugverkehr tätig und besaßen Musterberechtigungen auf einem oder mehreren der in Tab. 1 aufgeführten Flugzeugmuster.

TAB 1. Aktuell geflogene Flugzeugmuster

Flugzeugmuster					
A320	A330	A350	B747	B757	B767

Aufgrund unterschiedlicher Dienstgrade pro Flugzeugmuster gab es beim Dienstgrad der Piloten Mehrfachnennungen. Insgesamt gab es sieben Nennungen des Dienstgrads Kapitän (Captain) sowie vier Nennungen des Dienstgrads Erster Offizier (First Officer) und zwei Nennungen des Dienstgrads Senior First Officer.

Eine Übersicht über das Alter und die Flugerfahrung der Piloten geben die Boxplots in Bild 2. Dargestellt sind Boxplots für das Alter der Piloten in Jahren (links), die Dauer des Besitzes der ATPL-Lizenz in Jahren (Mitte) und die Gesamtanzahl an Flugstunden über alle Musterberechtigungen des jeweiligen Piloten in 1000 h (rechts).

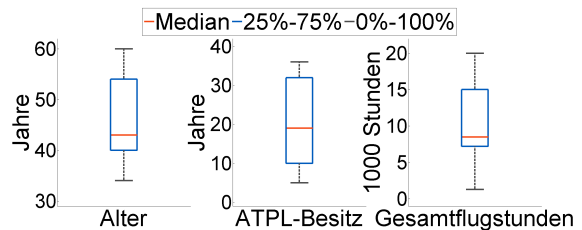


BILD 2. Alter und Flugerfahrung der Piloten (Dauer des ATPL-Lizenzbesitzes und Gesamtflugstunden auf allen Flugzeugmustern)

Die Flugerfahrung reichte von einem fünfjährigen Besitz der ATPL-Lizenz mit 1300 Flugstunden zu einer Besitzdauer von 36 Jahren und 15000 Flugstunden. Das Maximum lag bei 20000 Flugstunden Flugerfahrung. Die Mediane lagen bei 19 Jahren bzw. 8500 Flugstunden. Neben der Erfahrung in Form von Flugstunden brachten die meisten Piloten weitere Erfahrung durch Ausbildertätigkeiten mit. Lediglich drei Piloten gaben an, weder Class Ra-

ting Instructor noch Flight Instructor, Instrument Rating Instructor, Synthetic Flight Instructor oder Type Rating Instructor zu sein.

3. AUSWERTUNG

Nach ein paar einleitenden Anmerkungen zur Interpretation der Ergebnisse werden in diesem Kapitel die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Entscheidungsfindungsprozessen der Piloten herausgearbeitet. Dabei wird auf Unterschiede bei der Durchführung der Szenarien und der Auswahl und Bewertung von Optionen eingegangen.

3.1. Anmerkungen

Bei der Interpretation der Studienergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Piloten unterschiedlich viel kommunizierten und nicht immer alle Gedankengänge laut geäußert haben müssen. Es ist möglich, dass einzelne Aspekte in den Entscheidungsprozess eingeflossen sind, ohne explizit angesprochen zu werden. Beispielsweise könnte im ersten Szenario ein Rückflug zum Startflughafen in Erwägung gezogen und direkt wieder verworfen worden sein. Ein kurzer Blick auf die Wetterkarte könnte beeinflusst haben, welche Flughäfen abgefragt wurden. Unterschiede in der Ausführlichkeit von Erklärungen können unter anderem auf die Ausbildertätigkeiten der Piloten und die Art und Weise der Studiendurchführung zurückgeführt werden. Ein Pilot merkte an, dass es ungewohnt sei, Selbstgespräche zu führen. Weiterhin ist anzumerken, dass die Anzahl der Studienteilnehmer gering war. Gleichzeitig war der Anteil von Kapitänen und Senior First Officern sowie der Anteil von Piloten mit Zusatzqualifikationen im Bereich der Pilotenausbildung unter den Studienteilnehmern überdurchschnittlich.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Piloten aus eigenem Interesse in ihrer Freizeit an der Studie teilnahmen und sich in unterschiedlichem Umfang auf die Szenarien vorbereiteten. Einzelne Piloten merkten an, dass sie die Briefing-Unterlagen inkl. NOTAMs unter anderem aufgrund des Umfangs nicht vollständig durchgearbeitet hätten. Zwei Piloten erinnerten sich aus der Vorbereitung an die Baumaßnahmen in Dublin und fragten vor bzw. während des Szenarios nach den Details und Auswirkungen. Ein Pilot hatte sich zur Vorbereitung die wichtigsten Informationen aus dem Flugplan herausgeschrieben.

Darüber hinaus ergaben sich einige Besonderheiten aus der Art und Weise der Studiendurchführung. Während die Piloten in einem Simulator langsam an den Beginn des Szenarios herangeführt werden und sich die Situation durch visuelle Eindrücke und Informationen von Cockpitanzeigen kontinuierlich entwickelt, wurden die Piloten in dieser Studie zu Beginn der Szenarien mit vielen neuen Informationen konfrontiert und mussten zunächst ihr eigenes mentales Modell von der Situation erstellen. Gleichzeitig unterschied sich die Darstellung und Abfrage von Informationen auf dem Whiteboard vom gewohnten Arbeitsumfeld.

Drei Piloten gaben im abschließenden Fragebogen an, dass sie durch diese Umstände nicht in Ihrer Entschei-

dungsfindung eingeschränkt wurden. Die anderen sechs Piloten mit vollständig ausgefülltem Fragebogen fühlten sich aufgrund der fehlenden Diskussionsmöglichkeit mit einem anderen Besatzungsmitglied eingeschränkt. Vier Piloten meldeten bei der Durchführung des ersten Szenarios Einschränkungen aufgrund des ungewohnten Arbeitsumfelds (Online-Whiteboard statt Cockpit). Bei der Durchführung des zweiten Szenarios waren es nur noch drei Piloten. Jeweils ein Pilot gab an, in beiden Szenarien aufgrund technischer Probleme, der Begrenzung auf ausgewählte Flughäfen oder der Art und Weise der Informationsbeschaffung und -bereitstellung eingeschränkt worden zu sein. Ein Pilot führte für das zweite Szenario unangemessene Szenario-Vorgaben als Grund für Einschränkungen an.

Während des Debriefings dienten die Szenarien als Diskussionsgrundlage für weitere Unterstützungsmöglichkeiten. Dabei beschrieben die Piloten zum Teil konkrete Umsetzungsideen für ein Assistenzsystem zur Unterstützung bei der Wahl eines Ausweichflughafens (vgl. Kapitel 4). Zwei Piloten merkten an, dass ein solches Assistenzsystem eine große Hilfestellung bei der Vorauswahl sein könne. Ein anderer Pilot kommentierte im Abschlussbogen, dass ein solches Assistenzsystem bei guter Umsetzung ein echter Sicherheitsgewinn und eine Hilfe im Alltag sein könne.

3.2. Gemeinsamkeiten

Das erste Szenario bewertete keiner der Piloten als zeitkritisch, sodass sie jeweils den bestmöglichen Ausweichflughafen suchten. Dabei berücksichtigten sie neben allen sicherheitsrelevanten Faktoren (z. B. Wetter, Bahnlänge) auch wirtschaftliche Faktoren wie Wartungsmöglichkeiten und Passagierabfertigung. Weiterhin bewerteten die Piloten die marginalen Sichtbedingungen am Zielflughafen (Nebel mit Sichtbedingungen an der Grenze zu CAT-III) als problematisch. In Kombination mit der fehlerbedingten Einschränkung der Landefähigkeit auf maximal CAT-II-Sichtbedingungen entschieden sich alle Piloten gegen eine Landung am geplanten Zielflughafen (Vigo).

Mit Ausnahme eines Piloten bewerteten alle Piloten das zweite Szenario aufgrund des durch die blockierten Slats erhöhten Treibstoffverbrauchs und der von vielen Piloten mit Blick auf die Wettersituation als niedrig eingestuftem mitgeführten Treibstoffmenge als zeitkritisch. Wirtschaftliche Faktoren waren daher bei der Entscheidung zweitrangig.

Alle Piloten gingen in ihrer Entscheidungsfindung strukturiert vor. Sie analysierten die Situation, ermittelten Handlungsalternativen und holten Informationen zu deren Bewertung ein, um im Anschluss eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Einzelne Piloten kündigten dabei explizit an, nach der FORDEC-Methode vorzugehen. Sie gingen dabei auf die einzelnen Schritte ein und benannten diese klar (z. B. Facts). Neben dem weitverbreiteten Vorgehensmodell FORDEC gibt es eine Vielzahl weiterer Vorgehensmodelle zur strukturierten Entscheidungsfindung (vgl. [9]). Ein Pilot berichtete, nach der sogenannten PIOSEE-Methode (Problem,

Information, Options, Select, Execute, Evaluate) zu entscheiden.

3.3. Unterschiede

Unterschiede zeigten sich sowohl bei der Durchführung der Szenarien als auch bei der Auswahl und Bewertung der Optionen.

3.3.1. Szenariodurchführung

Große Unterschiede zeigten sich im Verhalten der Piloten beim Durchsprechen der Szenarien. Während sich einige Piloten auf das Gedankenexperiment eines statischen Szenarios ohne Zeitdruck mit Fokus auf der Entscheidungsfindung einließen, versetzten sich andere Piloten in das beschriebene Szenario hinein und sprachen zusätzlich die Handlungsabläufe wie in einem realen Flug an. Hierzu zählten u. a. eine mögliche Überprüfung des Fehlers mittels Cross-Checks, um Fehlwarnungen auszuschließen, die Kommunikation mit der Flugverkehrskontrolle (Air Traffic Control, ATC) (Informieren über Systemfehler, Abstimmung der nächsten Schritte) oder das Informieren der Kabinencrew und Passagiere, um unterbrechenden Nachfragen während der Entscheidungsfindung vorzubeugen. Bei der Ausführlichkeit der Beschreibung der direkten Handlungen gab es weitere Unterschiede zwischen den Piloten. Während einige Piloten in Szenario 2 lediglich anmerkten, den Anflug abubrechen oder einen Go-Around zu fliegen, um in einer Warteschleife (Holding) Zeit für die Entscheidungsfindung zu haben, überlegten andere Piloten wie sie sich auf der Grundlage des Wetters strategisch positionieren (z. B. Geschwindigkeitsreduktion, Lage des Holdings), um ihre Ausgangslage zu verbessern.

Bei der strategischen Positionierung half den Piloten das aufgebaute mentale Modell der aktuellen Situation. Dieses Modell wäre in der Regel bereits aus der Anflugvorbereitung vorhanden, wenn die Piloten u. a. das aktuelle Wetter in der Region um den Zielflughafen einholen und mögliche Ausweichflughäfen durchsprechen. Nach Rückmeldung durch die ersten beiden Piloten wurden ab dem dritten Studienteilnehmer bei der Szenarioeinführung die aktuellen Wetterinformationen am Zielflughafen (Szenario 1: Vigo; Szenario 2: Dublin) in Form einer ATIS-Meldung vorgegeben. Im zweiten Szenario wurden zusätzlich die ATIS-Meldungen der beiden geplanten Ausweichflughäfen (Manchester und Kerry) mit angegeben. Die meisten Piloten merkten an, dass sie während eines Fluges das Wetter von Flughäfen entlang der Flugroute und in der Region des Zielflughafens bzw. auch an geplanten Ausweichflughäfen beobachteten. Zwei Piloten merkten darüber hinaus an, dass sie sich bei Wettersituationen wie im zweiten Szenario bereits vor dem Sinkflug Gedanken über mögliche Ausweichflughäfen gemacht hätten. Ein Pilot ließ sich zur Vorbereitung vor Szenariobeginn das Wetter zahlreicher Flughäfen geben. Zum Einstieg in das Szenario ergänzten die Piloten ihr mentales Modell um die Auswirkungen des Systemfehlers. Dazu verwendeten die meisten Piloten die Darstellung des Systemstatus. Im ersten Szenario fragten zwei Piloten weiterführende Informationen aus Herstellerdokumenten (QRH, FCOM)

ab, während im zweiten Szenario acht Piloten den zugehörigen QRH-Auszug abfragten. Teilweise fassten die Piloten die Ausgangslage des Szenarios jeweils mit eigenen Worten zusammen und ließen sich bestätigen, dass ihr bestehendes Modell korrekt ist.

Es zeigte sich, dass sich dieses mentale Modell mit zunehmender Aufnahme von Informationen entwickelt. Ein Pilot merkte im zweiten Szenario als erste Reaktion an, einen Go-Around durchzuführen, um anschließend im Holding Zeit für die Entscheidungsfindung zu haben. Nachdem er sich auf der angefragten Anflugkarte einen Überblick über die aktuelle Position gemacht und das Wetter studiert hatte, entschied er sich dazu, den Anflug abubrechen und ein Holding westlich von Dublin zu fliegen, um Treibstoff einzusparen. Kurz darauf korrigierte er seine Überlegungen erneut und entschied sich dazu, direkt in Richtung Kerry zu fliegen, um keinen Treibstoff im Holding zu verschwenden. So konnte er sich sowohl Dublin als auch die drei südwestlich gelegenen Flughäfen (Shannon, Kerry, Cork) als Optionen offenhalten (vgl. Bild 7) und den entferntesten Flughafen mit maximal möglicher Treibstoffreserve erreichen. Bei der Umsetzung hätte er den Copiloten einbezogen und Aufgaben delegiert.

Fehlende Rücksprachemöglichkeiten oder ein angedeuteter Austausch mit einem Copiloten zur Bestätigung des aufgebauten Modells oder der finalen Entscheidung wurden in Szenario 1 von sieben Piloten und in Szenario 2 von vier Piloten angesprochen. Als Grund wurde insbesondere die Gefahr genannt, dass unter Zeitdruck wichtige Informationen übersehen oder falsche Annahmen getroffen werden. Ein Pilot schloss beispielsweise Shannon aufgrund falsch erinnelter Informationen über die Länge der Landebahn als Option aus. Ein anderer Pilot stellte im Debriefing fest, dass Belfast nicht im Kartenausschnitt gelegen hatte und daher nicht betrachtet wurde. Trotz der Ankündigung statischer Szenarien verspürten einige Piloten einen gewissen Zeitdruck. Zwei Piloten merkten in Szenario 2 mehrmals an, dass das Extra-Fuel verbraucht wäre und sie bald zu einer Entscheidung kommen sollten. Ein anderer Pilot merkte im Debriefing an, dass es ohne Zeitdruck möglich gewesen wäre, noch andere Flughäfen anzuschauen.

3.3.2. Auswahl von Optionen

Abhängig von der vorliegenden Situation (z. B. Auswirkungen des Fehlers, Position) stehen die folgenden Optionen zur Auswahl.

- Weiterfliegen (Zielflughafen)
- Zurückfliegen (Startflughafen)
- Ausweichflughafen
 - geplanter Ausweichflughafen
 - ungeplanter Ausweichflughafen
- Außenlandung (letzte Option)

Als Nachteil von Ausweichflughäfen nannte ein Pilot eine mögliche Verlängerung des Fluges, weil das Flugzeug dort nicht erwartet würde und andere Flugzeuge ohne Deklaration einer Notlage ggf. priorisiert würden. Außerdem müssten bei ungeplanten Ausweichflughäfen alle relevanten Informationen eingeholt werden, während an geplanten

Ausweichflughäfen viele Informationen bereits vorhanden seien (z. B. Wetterinformationen). Ein Assistenzsystem könnte diese Informationen automatisiert abfragen und regelmäßig aktualisieren.

Tab. 2 gibt einen Überblick, wie oft der Zielflughafen, der Startflughafen und die geplanten Ausweichflughäfen als mögliche Ausweichoptionen in Betracht gezogen wurden. Ausschlaggebend war eine Nennung der Option, auch wenn diese beispielsweise aufgrund der aktuellen Position direkt wieder verworfen wurde. Der Zielflughafen wurde in beiden Szenarien von allen Piloten umfangreich analysiert. Eine Rückkehr zum Startflughafen wurde in Szenario 1 vergleichsweise selten in Betracht gezogen, obwohl Dublin näher am Fehlerpunkt lag als der geplante Ausweichflughafen Lissabon (vgl. Bild 7). Auch dieser wurde im ersten Szenario nur von sechs Piloten berücksichtigt und nur vier Piloten entschieden sich am Ende auch für Lissabon als Ausweichflughafen. Im zweiten Szenario war eine Rückkehr nach Bilbao nicht möglich. Die meisten Piloten prüften beide geplanten Ausweichflughäfen, während sich einzelne Piloten z. B. durch die Wahl der Lage des Holdings auf eine Flugrichtung (Ost oder West) festlegten und daher nur einen der geplanten Ausweichflughäfen betrachteten. Ein Pilot (P07) fokussierte sich auf eine Landung in Dublin. Er prüfte, ob es möglich ist, dort zu landen und betrachtete daher keine anderen Flughäfen, solange nichts gegen Dublin sprach.

TAB 2. Berücksichtigung der Basis-Optionen (Zielflughafen, Startflughafen, geplanter Alternaten)

Option	Szenario 1		Szenario 2	
Zielflughafen	Vigo	11	Dublin	11
Startflughafen	Dublin	3	Bilbao	-
Geplanter Ausweichflughafen	Lissabon	6	Kerry	9
			Manchester	8

Bilder 6 und 7 im Anhang geben eine Übersicht über die Auswahl und Abfrage von Informationen durch die Piloten. Unter jedem Flughafen sind dort alle durch die Piloten abgefragten Informationen des jeweiligen Szenarios dargestellt. Alle Abfragen eines Piloten sind jeweils in der gleichen Farbe und relativ zu den Abfragen der anderen Piloten an der gleichen Position dargestellt. Die Wolke symbolisiert die Abfrage von Wetterinformationen (ATIS-Meldung), während das Symbol der Landebahn die Abfrage von Flughafeninformationen (Bahnabmaße, Ausrichtung, NOTAMs, bestes verfügbares Anflugverfahren) anzeigt. Der Stern zeigt an, dass dieser Flughafen vom Piloten final als Ausweichflughafen gewählt worden ist. Als Referenz zur Beurteilung der Entfernungen sind Entfernungsringe eingezeichnet. Die Radien dieser Kreise mit Mittelpunkt am Ort des Fehlers sind Vielfache von 100 NM (Szenario 1) bzw. 40 NM (Szenario 2). Diese Ringe standen den Piloten im ersten Szenario nicht zur Verfügung. Im zweiten Szenario konnten sie auf Abfrage eingeblendet werden, um die Reichweite abzuschätzen. Die Flugroute ist als Linie in Lila dargestellt. Heimatflughäfen der fiktiven Airline werden durch gelbe Punkte repräsentiert. Es wurde angenommen, dass sich diese

von den blau markierten Flughäfen durch vorhandenes Airline-Personal für Passagierhandling und Wartungsarbeiten unterscheiden. Außerdem wird der Flughafen regelmäßig von der fiktiven Airline angefliegen und ist daher gut an das Streckennetz angebunden. Grau dargestellte Flughäfen wurden von keinem Piloten angefragt.

Vorauswahl

Die meisten Piloten trafen bei der Abfrage von Informationen eine Vorauswahl möglicher Ausweichflughäfen. Diese Vorauswahl von Flughäfen für die weitere Analyse erfolgte u. a. auf Basis der Wetterlage. Anhand der Wetterübersichtskarte stuften im ersten Szenario zwei Piloten Nordspanien aufgrund des marginalen Wetters als ungeeignet ein und betrachteten die dort liegenden Flughäfen (Bilbao, Santander) nicht. Andere Piloten schlossen diese Flughäfen aufgrund von Hintergrundwissen zu den Flughäfen oder auf der Grundlage von persönlichen Erfahrungen bzw. Berichten anderer Crews von der Betrachtung aus. Die Kenntnis von einem Flug, bei dem das Ausweichen nach Kavala aufgrund dort fehlender Infrastruktur zu einer sehr aufwendigen Wartung des Flugzeugs führte [10], kann hier als ein Beispiel aufgeführt werden. Ein Pilot, dem der Sachverhalt mit der aufwendigen Wartung in Kavala bekannt war, vermutete, dass die Anbindung und die Infrastruktur der Flughäfen an der Nordküste Spaniens schlecht seien. Es fällt auf, dass dieser Pilot im ersten Szenario ausschließlich Informationen von bekannteren Flughäfen (Porto, Lissabon, Madrid, Bordeaux und Nantes) anfragte. Ein anderer Pilot schloss Bilbao aufgrund von Vorwissen über die Bahnlänge und das umliegende Gelände in Verbindung mit der schlechteren Flugzeugperformance bei nicht einfahrbarem Fahrwerk aus. Auch Flughäfen, welche von der Airline nicht angefliegen werden oder von der Airline nicht freigegeben sind und den Piloten daher unbekannt waren, wurden von den Piloten nicht weiter berücksichtigt. Die Flughäfen Pau (LFBP), Rennes (LFRN) und Lorient (LFRH) wurden im Abschlussfragebogen von allen Piloten (neun abgeschlossene Fragebögen) als unbekannt eingestuft. Ein Pilot gab im Fragebogen an, dass es ihm im ersten Szenario half, eine grobe Vorstellung zu haben, welche Flughäfen prinzipiell in Frage kämen und welche er bereits bei früheren Vorbereitungen als ungeeignet eingestuft habe (z. B. aufgrund von Bahnlänge, Gelände, Anflug). Die Vorauswahl wurde in Szenario 2 außerdem aufgrund der Treibstoffmenge durch die strategische Positionierung bzgl. der Lage des Holdings oder der gewählten Flugrichtung beeinflusst.

Suchgebiet

Unterschiede zeigten sich auch im betrachteten Suchgebiet möglicher Ausweichflughäfen. Im ersten Szenario gab es drei Piloten (vgl. Bild 6: dunkelgrün, lila und dunkelblau), die im Wesentlichen die vier in Flugrichtung gelegenen Flughäfen (Asturias, Vigo, Porto und Lissabon) prüften und sich am Ende alle für Lissabon als Ausweich-

flughafen entschieden. Diese drei Piloten gaben im Abschlussfragebogen an, dass ihnen die Flughafenkenntnisse aus ihrem Berufsalltag bei der Auswahl geholfen hätten, weil sie Lissabon entweder schon selber angefliegen hätten und mit dem Flughafen vertraut seien oder ihnen Lissabon als verlässlicher Flughafen bekannt sei. Zwei andere Piloten (vgl. Bild 6: weinrot und cyan) fokussierten sich auf Flughäfen in der Nordhälfte von Spanien und Portugal. Den geplanten Ausweichflughafen Lissabon berücksichtigten sie nicht und die finalen Entscheidungen fielen auf Porto und Zaragoza. Die verbliebenen sechs Piloten (vgl. Bild 6: naviblau, grau, orange, rot, hellgrün und schwarz) fragten Informationen von Flughäfen in allen Richtungen ab und berücksichtigten dabei unterschiedlich große Suchradien.

Im ersten Szenario erweiterten drei Piloten ihre anfängliche Flughafenauswahl nachträglich und holten Informationen von weiteren Flughäfen ein. Ein Pilot zog im Verlauf der Entscheidungsfindung einen Rückflug zum Startflughafen nach Dublin in Erwägung. Ein anderer Pilot machte sich Gedanken über mögliche Backup-Optionen und fragte dafür vor der Entscheidung für einen Ausweichflughafen noch das Wetter und die Flughafeninformationen von Faro und Toulouse als Ausweichflughäfen von Lissabon und Bordeaux ab. Der dritte Pilot entschied sich zunächst anhand der Vorauswahl abgefragter Informationen (Vigo, Porto, Santiago, Nantes) für einen Flug in Richtung Nantes. Im Anschluss fragte er Informationen weiterer benachbarter Flughäfen (Bordeaux, Lorient, Rennes, Brest) ab, um die Anzahl der Optionen zu erhöhen, bevor er sich final auf Nantes festlegte.

Im zweiten Szenario können zwei charakteristische Suchgebiete unterschieden werden. Sechs Piloten (vgl. Bild 7: weinrot, grau, cyan, hellgrün, lila und orange) beschränkten sich bei der Abfrage auf die geplanten Ausweichflughäfen (Manchester und Kerry), Dublin und die beiden benachbarten Flughäfen von Kerry (Shannon und Cork). Es ist anzumerken, dass nicht immer alle genannten Flughäfen betrachtet wurden. Die anderen fünf Piloten (vgl. Bild 6: naviblau, blau, dunkelgrün, schwarz und rot) beschränkten sich nicht auf die östlich und südwestlich von Dublin gelegenen Flughäfen. Sie fragten Informationen von Flughäfen in allen Richtungen ab. Dabei begannen die Piloten mit einer Flughafenauswahl und erhöhten den Suchradius bei Bedarf schrittweise, weil in diesem Szenario kein idealer Ausweichflughafen verfügbar war und bei der Auswahl ein Kompromiss zwischen verschiedenen Auswahlkriterien eingegangen werden musste. Einzelne Flughäfen konnten aufgrund der verfügbaren Bahnlänge direkt ausgeschlossen werden. Ein Pilot sagte während des zweiten Szenarios explizit, dass er die Flughäfen in der Reihenfolge zunehmender Entfernung von der aktuellen Position prüfen würde, bis ein passender Flughafen gefunden ist.

Anzahl geprüfter Flughäfen

Bild 3 zeigt, von wie vielen Flughäfen die Piloten jeweils Informationen über das Wetter oder die Flughafeninfrastruktur (z. B. Landebahnlängen und -ausrichtung) ein-

holten. Die beiden linken Balken beziehen sich auf Szenario 1 und die rechten auf Szenario 2. Auch hier zeigen sich Unterschiede.

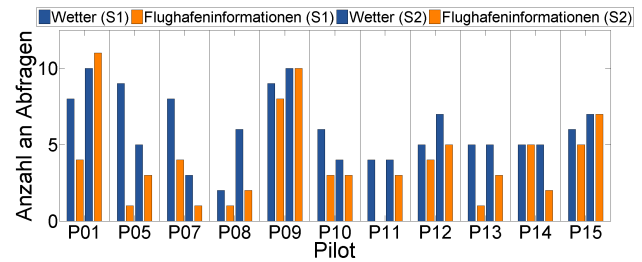


BILD 3. Übersicht über die Anzahl abgefragter Informationen pro Pilot (links: Szenario 1, rechts: Szenario 2)

Auffällig ist, dass die Piloten (mit einer Ausnahme) immer mehr Wetterinformationen als Flughafendaten abfragten. Im zweiten Szenario vermutete Pilot 1, dass die Landebahn des Flughafens Isle Of Man (EGNS) zu kurz sei. Diese Information konnte er mit Hilfe der Flughafenübersicht bestätigen, um den Flughafen unabhängig vom Wetter ausschließen zu können. In der Regel fragten die Piloten zuerst das Wetter ab und holten erst im Anschluss die Flughafendaten ein. Die Vervollständigung des mentalen Modells mit den Wetterinformationen half den Piloten, insbesondere in zeitkritischen Situationen wie Szenario 2, eine Vorauswahl zu treffen und sich strategisch zu positionieren. Im ersten Szenario wählte Pilot 5 anhand des von neun Flughäfen abgefragten Wetters einen geeigneten Flughafen für eine detaillierte Überprüfung der Eignung aus. Für diesen Flughafen fragte er anschließend eine Wettervorhersage für die voraussichtliche Ankunftszeit und die Flughafeninformationen sowie die NOTAM-Lage ab.

Es ist anzumerken, dass den Piloten einzelne Flughäfen bekannt waren, sodass teilweise keine Flughafeninformationen abgefragt wurden. Pilot 11 gab beispielsweise im Fragebogen an, dass er Detailwissen über die Bahnsysteme (u. a. Länge und Ausrichtung) von Porto und Lissabon habe. Zwei Piloten (P09 und P15) merkten während des zweiten Szenarios an, dass sie mit den Flughäfen in Irland nicht so vertraut seien. Dies erklärt die große Anzahl an Abfragen von Flughafendaten in diesem Szenario.

Drei Piloten (P05, P07, P10) fragten im zweiten Szenario weniger Wetterinformationen ab als im ersten Szenario, während andere Piloten (P01, P08, P09, P12, P15) im zweiten Szenario, trotz der Zeitkritikalität des Szenarios, sogar mehr Wetterinformationen und zum Teil auch mehr Flughafeninformationen abfragten. Diese Unterschiede können u. a. auf die beschriebenen Unterschiede bei der Szenariodurchführung zurückgeführt werden. Pilot 10 (hellgrün) merkte im Debriefing an, dass er während des Szenarios den Zeitdruck aus dem echten Leben im Hinterkopf gehabt hätte und sich ohne Zeitdruck auch noch andere Flughäfen (z. B. Cork, Charlestown, Belfast) hätte anschauen können. Die Reduktion auf Abfragen an drei bis fünf Flughäfen im zweiten, zeitkritischen Szenario kann als Hinweis auf eine sinnvolle Anzahl vorgeschlagener Ausweichflughäfen durch ein Assistenzsystem interpretiert werden. Drei Piloten (P11, P13, P14) fragten

in beiden Szenarien gleich viele Wetterinformationen ab. Auch sie lagen bei einer Anzahl von drei bis fünf Flughäfen.

3.3.3. Bewertung von Optionen

Nach dem Einholen aller Informationen wurden die Vor- und Nachteile (Risks & Benefits) der verschiedenen Flughafenoptionen analysiert und mit Blick auf die zuvor im FORDEC-Schritt Facts definierten Anforderungen (harte Kriterien) und Wünsche (weiche Kriterien) an einen geeigneten Ausweichflughafen bewertet. Die meisten Piloten äußerten ihre Anforderungen mündlich, während einzelne Piloten ihre Liste mit Anforderungen auf dem Online-Whiteboard notierten. Sowohl bei der Auswahl der Kriterien als auch bei der Bewertung einzelner Kriterien gab es Unterschiede. Einzelne Kriterien wie die verbleibende Landebahnlänge (Stoppmarge), also die Differenz zwischen der benötigten (Landing Distance Required, LDR) und der verfügbaren Landedistanz (Landing Distance Available, LDA) oder die verbleibende Treibstoffreserve wurden von allen Piloten berücksichtigt. Diese können neben weiteren Kriterien (z. B. Seitenwindlimits des Flugzeugs; aufgrund eines Fehlers in Verbindung mit den topographischen Gegebenheiten um den Flughafen nicht mehr ausreichende Steigleistung) bei ausreichender Verfügbarkeit von Alternativen (ohne Notwendigkeit einer Außenlandung) als Ausschlusskriterien gewertet werden. Andere Kriterien wie Anflugverfahren, die Verfügbarkeit eines Instrumentenlandesystems oder Backupmöglichkeiten wurden nur von einzelnen Piloten angesprochen. Insbesondere im zweiten Szenario machten sich mehrere Piloten Gedanken über einen Plan B und bezeichneten die Verfügbarkeit einer zweiten Landebahn als wünschenswert oder merkten an, dass es bei Flughäfen mit nur einer Landebahn ein Risiko gebe. Zur Abschätzung der benötigten Landedistanz standen den Piloten Performance-Tabellen zur Verfügung, die für den jeweiligen Systemfehler und verschiedene Landebahnzustände bei vordefinierten Referenzbedingungen die benötigte Landedistanz angaben. Abweichungen von diesen Bedingungen wurden durch entsprechende Aufschläge und Abzüge berücksichtigt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und zur Analyse individueller Sicherheitsmargen wurde diese einheitliche Anwendung von Handbuchmethoden einer individuellen Nutzung von EFB-Anwendungen vorgezogen. Es wurde von den Piloten angemerkt und hat sich in der Studie gezeigt, dass das Arbeiten mit Tabellen (auch zur Abschätzung der Reichweite) fehleranfällig ist. Beim Auftreten von komplexen Fehlern, welche die Reichweite beeinflussen, wird die Reichweite daher von den Piloten über den aktuellen Treibstoffverbrauch abgeschätzt, weil es laut Aussage einzelner Piloten für diese Fehlerfälle aktuell keine guten EFB-Anwendungen zur Berechnung der Reichweite gibt.

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass Interpretationsspielraum bei den Einflussgrößen (Landebahnzustand; NOTAM-Hinweise zum Landebahnzustand wie „Slippery when wet“) und individuelle Sicherheitsaufschläge zu abweichenden Werten bei den benötigten

Landedistanzen führten. Dies führte teilweise zu verschiedenen Gesamtbewertungen, weil die Bahnlänge in einem Fall ausreichend und im anderen Fall zu kurz war. Dennoch waren Unterschiede bei der Bestimmung der benötigten Landedistanzen erkennbar. Während die meisten Piloten im zweiten Szenario eine konservative Schätzung der Landedistanz, ohne Einsatz von Umkehrschub (Reverser), vornahm, bestimmten zwei Piloten die benötigte Landedistanz unter Einsatz von Reversern. Ein Pilot merkte an, dass die berechnete Landedistanz bei bekannten Flughäfen i.d.R. passe, während er die benötigte Landedistanz bei unbekanntem Flughäfen konservativer abschätzen würde. Ein anderer Pilot merkte an, dass gelehrt werden würde, dass die Werte für trockene und nasse Bahnen ziemlich gut passen, während bei Kontamination der Bahn die Unsicherheiten zunehmen.

Auch bei der Interpretation und Bewertung von Wettermeldungen half den Piloten ihre individuelle Erfahrung. So seien beispielsweise Regenvorhersagen in der Karibik aufgrund der Dauer und Stärke anders zu bewerten oder die Zuverlässigkeit von Wetterprognosen je nach Region anders einzuordnen. Ein Pilot merkte beispielsweise an, dass in ATIS-Meldungen der Hinweis NOSIG („No significant change“) nicht ausschließe, dass das Wetter in der Realität kurze Zeit später erheblich schlechter werden könnte.

Das Wetter wurde ebenfalls von allen Piloten berücksichtigt, jedoch in unterschiedlichem Umfang interpretiert und diskutiert. Im ersten Szenario merkte ein Pilot beispielsweise an, dass eine nasse Landebahn ohne gemeldeten Regen auf vorangegangene Regenschauer zurückzuführen sei, und fragte daher für ein umfassenderes Bild der Wettersituation nach einer Wetterkarte mit eingezeichneten Fronten. Er fragte außerdem als einziger Pilot im ersten Szenario nach einer Wetterprognose für die voraussichtliche Ankunftszeit. Es ist anzunehmen, dass die anderen Piloten hier von einem Szenario mit statischem Wetter ausgingen. Es wurden auch nicht immer alle Aspekte des Wetters wie Seitenwind und Böigkeit, Sichtbedingungen, Niederschlag und flugbetrieblich signifikante Bewölkungen (TCU oder CB) angesprochen. Während sich ein Pilot im zweiten Szenario Gedanken um die Entwicklung der CB-Bewölkung an einem Flughafen machte und bei ATC um eine Einschätzung der Situation gebeten hätte, machte das Wetter auf einen anderen Piloten einen guten Eindruck und die CB-Bewölkung wurde gar nicht erwähnt. Drei Piloten sagten im ersten Szenario explizit, dass sie aufgrund des Ausfalls der Bugradsteuerung (Nose Wheel Steering) bzw. aufgrund des Wegfalls eines Reversers (Asymmetrie) gerne möglichst wenig Seitenwind bzw. eine gute Haftung auf der Bahn hätten. Ein anderer Pilot merkte hingegen nur an, im Hinterkopf zu behalten, dass das Flugzeug nicht mehr selber abrollen könne. Unterschiedliche Bewertungen gab es auch in Bezug auf Böen. Während einzelne Piloten die gemeldeten Böen eines Flughafens in Kombination mit dem Hydraulikfehler als unkritisch ansahen, sprachen die gemeldeten Böen aus Sicht eines anderen Piloten zusammen mit weiteren Wetterfaktoren (Regenschauer und auftretende Cumuluswolken) gegen diesen Flughafen.

Persönliche Präferenzen

Die Piloten bewerteten die Situation in den Szenarien jeweils auf der Grundlage aller ihnen bekannten Informationen. Gesammelte Erfahrungen beeinflussten dabei, wie diese Informationen interpretiert und bewertet wurden. Abhängig von den vorausgewählten Optionen, dem vorliegenden Fehler und individuellem Empfinden lag der Fokus auf anderen Informationen, sodass andere Einflussfaktoren angesprochen und Kriterien anders bewertet wurden. Merkmale, die an den betrachteten Flughäfen vergleichbar waren (z. B. Böen gleicher Geschwindigkeit), beeinflussten die Auswahl beispielsweise nicht oder nur indirekt (z. B. über die Seitenwindkomponente). Sie wurden daher möglicherweise nur im mentalen Modell berücksichtigt und nicht immer explizit angesprochen. Die Bewertung der Flughäfen erfolgte i.d.R. anhand einzelner Kriterien relativ zu anderen Flughäfen (z. B. X hat weniger Seitenwind als Y) oder es wurden nur die Argumente für (z. B. Wind in Bahnausrichtung) oder gegen einen Flughafen aufgeführt (z. B. wenig Stoppmarge), ohne diese gegeneinander aufzuwiegen. Beim Abgleich mit den zuvor definierten eigenen Anforderungen wurden einzelne Flughäfen ausgeschlossen oder als anfliegbar bewertet. Der Ausschluss erfolgte dabei im Wesentlichen auf der Grundlage der zuvor genannten Ausschlusskriterien (zu kurze Landebahn, Flugplatz nicht erreichbar). Zum Teil wurden darüber hinaus weitere persönliche Ausschlusskriterien genannt, die für andere Piloten nicht relevant waren.

Im ersten Szenario merkte beispielsweise ein Pilot an, dass er mit dem Hydraulikfehler nicht in das Großwettergebiet (mit schlechten Sichtbedingungen) am Zielflughafen (Vigo) fliegen möchte, weil das Fahrwerk nicht mehr eingefahren werden könne und man sich daher mit dem Ausfahren des Fahrwerks auf eine Region festlege. Er wich daher nach Nantes aus, während ein anderer Pilot final zu einem benachbarten Flughafen von Vigo (nach Porto) flog. Nantes wurde wiederum von einem Piloten aufgrund des Windes in Kombination mit nur einem Reverser und dem fehlenden Nose Wheel Steering ausgeschlossen. Ein Pilot schloss pauschal alle Optionen mit Standing Water auf der Landebahn aus. Auch die reduzierte Flugzeugperformance bei ausgefahrenem Fahrwerk im Falle eines Missed Approach in Kombination mit dem umliegenden Gelände wurde als Ausschlusskriterium genannt. Während ein Pilot einen Flughafen aufgrund eines VOR-Anflugs ausschloss, war ein VOR-Anflug für andere Piloten bei ausreichenden Wetterbedingungen und funktionierendem Autopiloten kein Ausschlusskriterium. Teilweise wählten sie am Ende sogar einen Flughafen mit VOR-Anflug als Ausweichflughafen aus. Ein Pilot merkte an, dass er von der Entfernung her gar nicht bis nach Lissabon fliegen wolle. Zwei Piloten merkten während der Analyse der Optionen an, dass es einige anfliegbare Flughäfen gebe bzw. man so ziemlich überall landen könne. Im zweiten Szenario merkte ein Pilot im Debriefing an, dass unbekannte Flughäfen in einer realen Notsituation aus Zeitgründen nicht evaluiert würden. Ein anderer Pilot merkte an, dass man dazu neige, zu einem Flughafen auszuweichen, den man schon kenne bzw. angeflo-

gen sei. Auch in diesem Szenario wurde von einem Piloten eine Landung bei Standing Water in Kombination mit dem vorliegenden Fehler als unwahrscheinlich bewertet, sodass Dublin für diesen Piloten als Ausweichflughafen ausschied. Dieser Pilot entschied sich final für Kerry, weil er Shannon mit einer zu kurzen Bahn erinnert hatte. Manchester wäre für ihn genauso vertretbar gewesen. Andere Piloten schlossen Manchester wiederum aufgrund des erhöhten Treibstoffverbrauchs und knapper Treibstoffreserven wegen der größeren Entfernung oder aufgrund von vorhergesagtem Nebel aus. Ein anderer Pilot schloss Dublin aufgrund der schlechten Sichtbedingungen aus. Allerdings gab es auch jeweils zwei Piloten, die sich für Dublin oder Manchester entschieden. Als ein Kriterium gegen Belfast wurde die entlegene Lage ohne weitere Backup-Optionen (Plan B) genannt.

Um einen Eindruck zu bekommen, ab wann eine Bahn für die Piloten als kurz oder die Treibstoffreserve als knapp gilt, wurden die Piloten im Abschlussfragebogen nach ihrer persönlichen Einschätzung gefragt. Die Piloten wurden gebeten, die Kriterien Stoppmarge, Seitenwind und verbleibende Flugzeit bei Erreichen des Flughafens (Landung ausstehend) jeweils anhand konkreter Zahlenwerte in drei Bereiche einzuteilen und einen persönlichen Grenzwert (Wohlfühlbereich) anzugeben. Der persönliche Grenzwert bezieht sich auf den Fall, dass es ausreichend Alternativflughäfen gibt, sodass ein Flughafen aufgrund dieses Grenzwertes ohne ernsthafte Konsequenzen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden kann. Bild 4 zeigt die Einstufungen der Piloten in Form von Balkendiagrammen. Die drei Bereiche sind zur leichteren Zuordnung in der Farbfolge einer Ampel dargestellt. Während bei der Stoppmarge und der verbleibenden Flugzeit (Treibstoffreserve) große Werte vorteilhaft sind, sind beim Seitenwind kleine Werte, also wenig Seitenwind, erstrebenswert. Neben den Einzeleinstufungen pro Pilot ist für jede Größe auch der Durchschnittswert dargestellt. Die persönliche Grenze der Komfortzone (Wohlfühlbereich) ist jeweils als senkrechter schwarzer Strich eingetragen.

Es zeigen sich individuelle Unterschiede. Bei Pilot 5 ist der mittlere Bereich für die Stoppmarge sehr ausgeprägt. Die untere Grenze dieses Bereichs ist mit 100 m vergleichsweise klein, während die obere Grenze dieses Bereichs mit 500 m sogar leicht über dem Durchschnittswert liegt. Bei der verbleibenden Flugzeit beginnt der grün dargestellte Bereich von Pilot 8 bereits vor dem Ende des rot markierten Bereichs aller anderen Piloten. Im Vergleich dazu erstreckt sich der rote Bereich von Pilot 7 bis zu einem Wert von 70 Minuten. Es ist anzumerken, dass nicht spezifiziert wurde, ob die verbleibende Flugzeit beim Erreichen des Flughafens (Landung ausstehend) die Nutzung aller Treibstoffreserven (z. B. Final Reserve Fuel) berücksichtigt. Fünf Piloten gaben 45 Minuten als persönlichen Grenzwert an und liegen damit sogar minimal über dem Durchschnittswert. Dieser von Pilot 7 angegebene vergleichsweise hohe Grenzwert bei der Einstufung als knappe Treibstoffreserve kann eine Erklärung für die Fokussierung auf eine mögliche Landung in Dublin im zweiten Szenario liefern. Pilot 7 prüfte, ob die verfügbare Landedistanz durch den Einsatz der Reverser ausreicht,

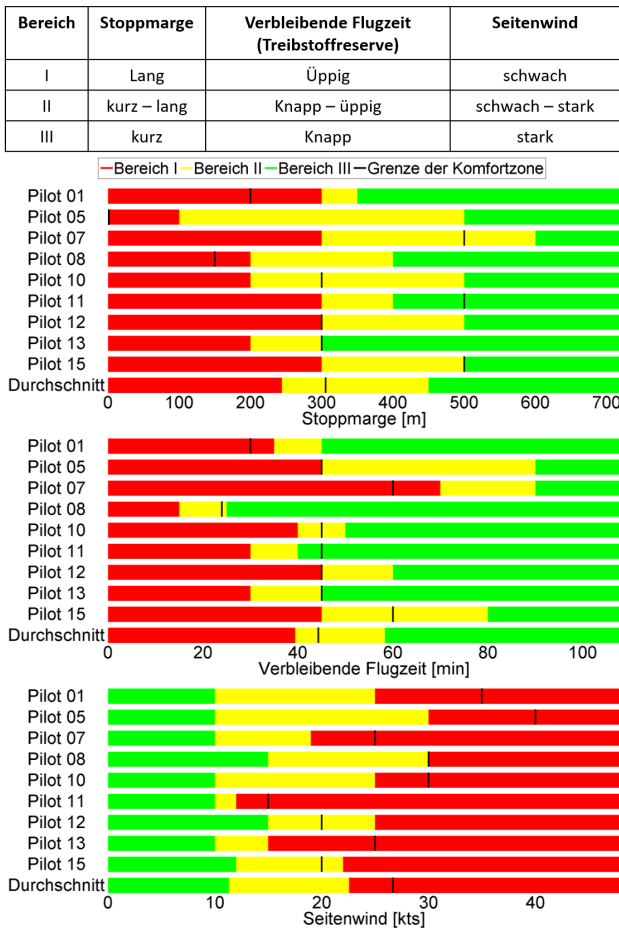


BILD 4. Einstufung der Kriterien Stoppmarge, verbleibende Flugzeit und Seitenwind in jeweils drei Bereiche inklusive persönlichem Grenzwert

und entschied sich am Ende für eine Landung in Dublin. Es fällt jedoch auf, dass der persönliche Grenzwert bezüglich der Stoppmarge von Pilot 7 mit 500 m ebenfalls vergleichsweise groß ist, sodass es bei der finalen Entscheidung auf die Gewichtung der verschiedenen Kriterien ankommt.

Gewichtung verschiedener Kriterien

Insbesondere im zweiten Szenario gab es keinen idealen Ausweichflughafen, der alle definierten Anforderungen und Wünsche der Piloten erfüllte. Daher war es notwendig, einzelne Kriterien zu priorisieren, um zu einer finalen Entscheidung für einen Ausweichflughafen zu kommen. Dabei zeigten sich ebenfalls persönliche Unterschiede in der Gewichtung.

Ein Pilot merkte an, dass ihm die Reichweite am wichtigsten sei, um bei einem möglichen Go-Around noch ausreichende Treibstoffreserven für einen zweiten Anflug zu haben. Daher nähme er lieber etwas schlechteres Wetter in Kauf als 15 Minuten länger zu fliegen. Ein anderer Pilot merkte an, dass bei wenig Stoppmarge eher die Notwendigkeit bestehe, durchstarten zu müssen, und schlug daher vor, einen komfortablen Ausweichflughafen mit langer Landebahn zu wählen, der ggf. auch weiter entfernt

liegen könne. Übertragen auf das Wetter, in Analogie zur Bahnlänge, führen beide Gedankengänge zu einer gegensätzlichen Priorisierung der Kriterien Wetter bzw. Bahnlänge und Treibstoffreserve. Individuelle Erfahrungen der Piloten können auch hier als eine mögliche Ursache für diese individuellen Priorisierungen aufgeführt werden.

Weil anhand der Szenarien nur bedingt Rückschlüsse auf die Gewichtung einzelner Kriterien möglich sind, wurden die Piloten im Abschlussfragebogen gebeten, vorgegebene Kriterien hinsichtlich ihrer Relevanz bei der Entscheidungsfindung zu ordnen. Da anzunehmen war, dass die Art und Kritikalität aufgetretener Systemfehler Einfluss auf die Gewichtung der Kriterien hat, wurde für beide Szenarien getrennt nach einer Rangfolge gefragt. Dazu wurden neun möglichst voneinander unabhängige Hauptkriterien definiert, die wiederum von verschiedenen Einflussfaktoren abhängen. Da einzelne Einflussfaktoren mehreren Hauptkriterien zugeordnet werden können, wurden die Hauptkriterien für ein einheitliches Verständnis anhand von beispielhaften Einflussfaktoren voneinander abgegrenzt (vgl. Tab. 3 im Anhang).

In Bild 5 geben die blauen Rechtecke die jeweilige Platzierung der Kriterien in der Rangfolge der Piloten an. Jedes Rechteck steht für die Antwort eines Piloten. Der hellblaue, waagerechte Strich markiert jeweils den aufgespannten Wertebereich aus den Platzierungen aller Piloten. Der vertikale schwarze Strich markiert die über alle Piloten gemittelte Platzierung. Die dargestellte Reihenfolge der Kriterien entspricht jeweils der gemittelten Platzierung in der Rangfolge des Szenarios. Zwei Piloten gaben für beide Szenarien dieselbe Rangfolge an.

Es fällt auf, dass in beiden Szenarien die Platzierung einzelner Kriterien stark streut. Im ersten Szenario reicht die Platzierung der beiden Kriterien Backupmöglichkeiten und Flugzeugperformance vom ersten bis zum achten Platz. Die Stoppmarge wurde von einem Piloten auf den neunten Platz gewählt. Dies lässt sich möglicherweise auf eine ungünstige Formulierung im Fragebogen zurückführen. Dort wurde angemerkt, dass davon ausgegangen werden könne, dass bei den zu bewertenden Flughäfen die Mindestkriterien (Bahnlänge, Seitenwindlimits, Reichweite) geprüft wurden und ausreichend Sicherheitsreserven eingeplant seien. Aufgrund dieser Formulierung kann eine erneute Bewertung der Flughäfen anhand der Stoppmarge als überflüssig bewertet worden sein. Im zweiten Szenario kann diese Formulierung die beiden Ausreißer bei der Platzierung der Kriterien Treibstoffmenge und Stoppmarge erklären.

Die gemittelten Rangfolgen beider Szenarien unterscheiden sich in der Reihenfolge der ersten fünf Kriterien. Im ersten, nicht zeitkritischen Szenario kann der Fokus unter Beachtung ausreichender Treibstoffreserven und Einhaltung der Mindestkriterien auf der Wahl des bestmöglichen Flughafens in Bezug auf das Wetter liegen, während der Fokus im zweiten Szenario aufgrund des erhöhten Treibstoffverbrauchs auf der Treibstoffmenge liegt. Das Wetter, die Treibstoffmenge und die Stoppmarge liegen in beiden Szenarien auf den oberen drei Platzierungen. Die Kriterien Anflugverfahren und Seitenwind tauschen ihre Platzierung und die Platzierungen der Kriterien Backupmöglichkeiten, Flugzeugperformance, Kennt-

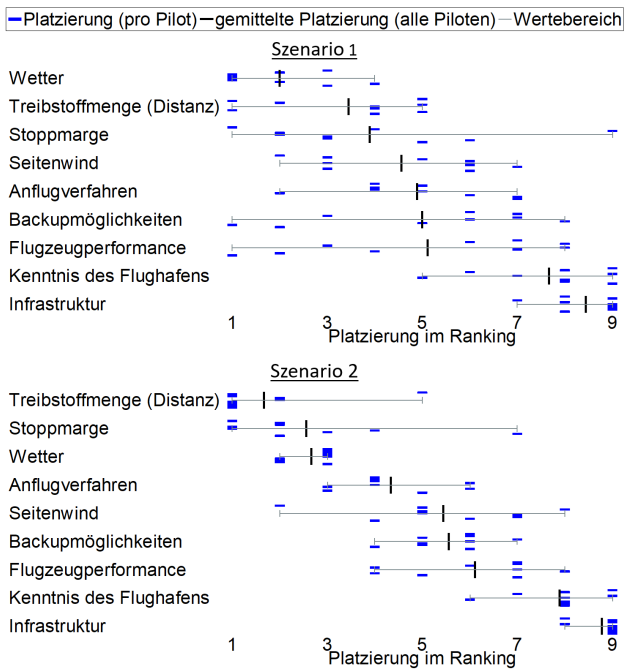


BILD 5. Rangfolge der Kriterien

nis des Flughafens und Infrastruktur bleiben gleich. Die oberste Priorität liegt bei der Entscheidung auf der Sicherheit. Dies zeigte sich auch während der Szenarien. Einzelne Piloten bewerteten im ersten Szenario Flughäfen als gleich geeignet und merkten an, dass sie sich in Rücksprache mit der Airline für eine der vorausgewählten Optionen entscheiden würden. Dabei könnten dann wirtschaftliche Faktoren wie Wartungsmöglichkeiten (Kriterium: Infrastruktur) oder auch Besonderheiten beim Passagierhandling (z. B. Einreisebestimmungen bei abweichendem Land) berücksichtigt werden. Ein Pilot bewertete einen Rückflug nach Dublin als genauso sicher wie eine Landung an einem der anderen Flughäfen.

4. ERKENNTNISSE

Auch wenn die Besonderheiten bei der Studiendurchführung Einfluss auf die Entscheidungsfindung haben können, lassen sich dennoch einige Erkenntnisse und Anregungen für weitere Unterstützungsmöglichkeiten festhalten, sowie Anforderungen für zukünftige Assistenzsysteme ableiten.

4.1. Anforderungen & Stand der Technik

Im Abschlussfragebogen wurde dazu ergänzend abgefragt, welche Kriterien zu einem Verlust des Vertrauens in ein solches System führen und damit die Nutzung eines Assistenzsystems verhindern würden. Es wurde angemerkt, dass die Informationsbeschaffung von einem Assistenzsystem übernommen werden könne, die finale Bewertung und Entscheidung jedoch beim Piloten bleiben müsse. Das System dürfe auf keinen Fall Lösungen vorgeben oder Handlungsanweisungen geben. Der Fokus des Systems müsse auf der Sicherheit liegen und nicht auf den Kosten. Um die Piloten zu unterstützen, sei eine

transparente Bewertung erforderlich, sodass die Piloten nachvollziehen könnten, welche Kriterien berücksichtigt und wie sie bewertet wurden. Verlässlichkeit und Vertrauen in das System seien wichtig. Daher müsse das System nachvollziehbar und übersichtlich sein. Informationen dürften nicht missverständlich dargestellt sein. Es sollten möglichst wenige, aber alle wichtigen Informationen inklusive Margen und Toleranzen dargestellt werden. Systemfehler und Verbindungsprobleme, die eine sichere Bereitstellung aller relevanten Informationen verhinderten, sowie fehlerhafte Berechnungen, würden zu einem Verlust des Vertrauens in das System führen. Außerdem bedarf es eines angemessenen Maßes an Interaktionsmöglichkeiten. Ein Pilot gab an, dass fehlende oder nur schwache Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Assistenzsystem und den Piloten die Nutzung eines solchen Assistenzsystems verhindern würden. Ein anderer Pilot nannte komplexe oder sehr zeitaufwendige Eingaben als Voraussetzung für ein korrektes Ergebnis als Ausschlusskriterien. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ausreichende Interaktionsmöglichkeiten für eine Nutzung des Systems wichtig sind, eine Erhöhung der Arbeitslast durch zu viele Interaktionsmöglichkeiten jedoch auf jeden Fall zu verhindern ist.

Die meisten Piloten merkten an, dass sie während des Fluges das Wetter entlang der Flugroute, am Zielflughafen und auch an den geplanten Ausweichflughäfen beobachten und dabei zur Vorbereitung Ausweichoptionen durchgehen würden. In der Airbus A350 gibt es dazu bereits eine Funktion („What-If“-Funktion), um während des Flugs einzelne Fehlerszenarien (z. B. Ausfall eines Triebwerks, Druckabfall) durchzugehen und die Leistungsfähigkeit des Flugzeugs bewerten zu können [11]. EFB-Anwendungen, welche die wichtigsten Daten (z. B. Wetterdaten wie TAF und METAR, Landebahndaten und NOTAMs) eines Flughafens zusammenfassen und aufbereitet darstellen, sind nach Aussagen der Piloten bereits im Einsatz. NOTAMs würden dabei beispielsweise nach Wichtigkeit kategorisiert. Auch die Briefingunterlagen seien vorsortiert und mit farblichen Abstufungen versehen. Laut Aussage einzelner Piloten führen Airlines Risikobewertungen von Flughäfen durch und werten Flughafendaten aus, um damit beispielsweise Prognosen (z. B. Worst/Best-Case) für zu erwartende Treibstoffverbräuche zu bestimmten Uhrzeiten zu generieren. Damit könnten die Piloten einschätzen, ob bei einem Anflug zum Ankunftszeitpunkt mehr oder weniger Treibstoff verbraucht würde als im Normalfall notwendig wäre. Mit Blick auf das zweite Szenario merkte ein Pilot an, dass es aktuell kein geeignetes Tool zur Berechnung der fehlerspezifischen Reichweite gebe. Die Anwendung von Handbuchtabelle sei zeitaufwendig und fehleranfällig. Weiterhin wurde angemerkt, dass aktuelle Systeme zwar auf bestehende Probleme (z. B. einen Systemausfall) hinweisen würden, das Prüfen aller Konsequenzen jedoch sehr umfangreich sei. Die benötigten Daten würden aktuell von verschiedenen Systemen bereitgestellt werden und müssten daher z.T. manuell in die entsprechenden EFB-Anwendungen übertragen werden, um die Konsequenzen (Facts) in Form von aktuellen Werten für die Reichweite oder Landedistanz zu bestimmen.

Solche Eingaben und Wechsel zwischen Systemen seien fehleranfällig und könnten die Arbeitslast (Workload) u. U. sogar erhöhen. Wünschenswert ist aus Sicht eines Piloten ein Vorschlagssystem, welches die Sachlage mit allen Konsequenzen und Berechnungsgrundlagen (z. B. Landebahnzustand) präsentiert, sodass der Pilot diese Informationen mit seinem mentalen Modell vergleichen und bestätigen könne. Viele Piloten sprachen den fehlenden Austausch und die Diskussion mit einem Copiloten an oder merkten an, dass sie eine Bestätigung des eigenen mentalen Modells brauchten, um sicher zu sein, nichts übersehen zu haben, oder die Entscheidung auf falsch erinnerten Informationen oder Annahmen zu treffen. Dieser Wunsch nach Absicherung durch eine zweite Meinung äußerte sich auch in Rückfragen an die Versuchsleitung durch einzelne Piloten. Ein Pilot merkte an, dass er den Copiloten zur Überprüfung seines Gedankenmodells nach seiner unbeeinflussten Meinung fragen würde. Für ihn sei es wichtig, dass der Copilot das verwendete Entscheidungsmodell (z. B. FORDEC) kenne und ihm die gleichen Informationen zur Verfügung stünden.

4.2. Umsetzungsideen

Aufgrund der beschriebenen Anforderungen erscheint es sinnvoll, die Menüführung des Assistenzsystems an das Entscheidungsmodell (z. B. FORDEC) anzulehnen. So könnten entsprechend des beschriebenen Pilotenwunsches zunächst unabhängig von den Optionen alle für die aktuelle Situation relevanten Fakten und Konsequenzen (Facts) aufgeführt werden. Diese können so von den Piloten geprüft (Cross-Check des Systems) und mit dem eigenen mentalen Modell verglichen werden. Insbesondere im zweiten Szenario wurden einzelne Optionen von den Piloten unterschiedlich bewertet, sodass final gewählte Ausweichflughäfen einzelner Piloten von anderen Piloten aufgrund abweichender Präferenzen ausgeschlossen wurden. Abhängig von den vorliegenden Randbedingungen wird es nicht immer möglich sein, allgemeingültig eine beste Option vorzuschlagen, die von allen Piloten als sicherste Option bewertet wird. Anstelle einer Rangfolge von Optionen scheint es daher sinnvoller zu sein, die Optionen anhand einer festen Schablone, also nach klar definierten Kriterien, in farbigen Abstufungen (z. B. hellgrün, dunkelgrün, gelb, rot) auf einer Karte darzustellen. So können die Piloten entsprechend ihrer eigenen Präferenzen anhand der Karte entscheiden, in welcher Reihenfolge sie die Optionen prüfen. Als eine geeignete Darstellungsform wurde von einzelnen Piloten im Debriefing ebenfalls eine farbcodierte Darstellung der Flughäfen auf einer Karte vorgeschlagen.

Entsprechend eines Pilotenvorschlags kann auch die Vorgabe gewünschter Mindest-Kriterien (z. B. Mindestwerte für Sicht und Wolkenuntergrenzen) und die Verwendung persönlicher Grenzwerte (vgl. Bild 4) sinnvoll sein. Diese könnten vom Assistenzsystem zur Bewertung und Darstellung der Optionen (Options) verwendet werden. Flughäfen, die alle gewünschten Mindest-Kriterien erfüllen, könnten beispielsweise grün dargestellt werden. Anhand von Ausschlusskriterien (Reichweite, Bahnlänge, Seiten-

wind oder Performancelimits) verworfene Optionen könnten ausgegraut werden. Ein Pilot gab im Abschlussfragebogen an, dass verworfene Optionen sichtbar bleiben müssten und erkennbar sein müsse, warum sie verworfen wurden. Eine pilotenindividuelle bzw. fehlerspezifische Gewichtung aller Bewertungskriterien (vgl. Bild 5) für die Farbbewertung des Flughafens kann ebenfalls sinnvoll sein. Durch Anklicken eines Flughafens könnten die wichtigsten Bewertungskriterien des jeweiligen Flughafens eingeblendet werden. Hier wurde von einem Piloten die Stoppmarge, die Entfernung sowie das Wetter und die Treibstoffmenge bei der Ankunft genannt. Ein anderer Pilot nannte explizit den Seitenwind als Beispielkriterium. Eine farbcodierte Darstellung dieser Bewertungskriterien und das Ausblenden aller für die Bewertung nicht relevanten Bewertungskriterien könnte helfen, die Gesamtbewertung schnell nachvollziehen zu können. Um verifizieren zu können, dass ein Flughafen aufgrund der Bahnlänge verworfen wurde, könnten beispielsweise Informationen über die Entfernung oder das Wetter ausgeblendet werden. Bei Bedarf könnten diese zur Beurteilung der Berechnungsgrundlagen (z. B. nasse Landebahn) eingeblendet werden. Etablierte Farbskalen und Bewertungsmaßstäbe können ebenfalls zum einfacheren Verständnis beitragen.

Das System soll die Piloten bei der Wahl eines sicheren Ausweichflughafens unterstützen. Dazu muss gewährleistet werden, dass angezeigte Informationen trotz Unsicherheiten (z. B. Wetter) zuverlässig sind, ohne dabei zu große Sicherheitsmargen zu verwenden, die dafür sorgen, dass mögliche Lösungen ausgeblendet werden.

Unsicherheiten aufgrund von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen (z. B. TAF-Meldungen mit PROB30) könnten besonders gekennzeichnet werden, um die Piloten darauf hinzuweisen, dass diese Optionen möglicherweise schlechter bewertet wurden, weil bei der Bewertung die ungünstigsten Bedingungen (Worst Case) angenommen wurden. Auf Wunsch des Piloten sollte dann die Möglichkeit bestehen, weitere Details und Berechnungsgrundlagen anzeigen zu lassen, sodass die Piloten die Bewertung nachvollziehen und bei Bedarf Änderungen vornehmen können (z. B. Wechsel des berücksichtigten Bahnzustands; Anpassung der Flugroute). Eine Darstellung der vom System geplanten Flugroute, einblendbare Wetterkarten (Overlay von Wetterprognosen) oder statistische Auswertungen von Flughafendaten (Mehrverbrauch bzw. zusätzliche Flugzeit zur erwarteten Ankunftszeit) können die Piloten bei der finalen Entscheidung für eine der vorgeschlagenen Flughafenoptionen unterstützen. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, insbesondere in zeitkritischen Situationen, nur die jeweils relevanten Informationen anzuzeigen und die Notwendigkeit manueller Eingriffe durch die Piloten auf ein Minimum zu reduzieren. Zur besseren Übersicht löschten einzelne Piloten nicht mehr benötigte Informationen vom Conceptboard oder strichen sie durch. Wirtschaftliche Gesichtspunkte könnten abhängig von der Kritikalität des Fehlers in einem nachgelagerten Prozess mit der Airline auf Basis der mit dem System herausgearbeiteten Optionen abgesprochen werden. Eine Funktion, um vorausgewählte Optionen an die Airline zu senden, könnte dabei unterstützen, schnell

und einfach Feedback bezüglich der unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten besten Option einzuholen.

Insbesondere bei zeitkritischen Fehlern, die sich auf den Treibstoffverbrauch und die Reichweite auswirken, begünstigt eine schnelle Festlegung auf eine Flugrichtung die möglichen Handlungsoptionen (Point of No-Return). Pilot5 entschied sich im zweiten Szenario anhand des Wetters und der aktuellen Position zunächst für eine Flugrichtung, ohne sich explizit auf einen der in dieser Richtung liegenden Flughäfen festzulegen. Die Analyse der besten Option konnte während des Flugs in das Zielgebiet erfolgen, um den knappen Treibstoff nicht in einem Holding zu verbrauchen und das Zielgebiet mit maximal möglicher Treibstoffmenge zu erreichen. Der ursprüngliche Zielflughafen Dublin blieb weiterhin erreichbar. Zur Unterstützung der Piloten bei dieser Vorgehensweise ist eine fehlerabhängige Unterscheidung der Darstellung denkbar, sodass bei zeitkritischen Fehlern zunächst nur ausgewählte Informationen zur Vorauswahl einer Flugrichtung eingeblendet werden.

Der Fokus könnte beispielsweise auf den priorisierten Entscheidungskriterien Wetter, Treibstoffmenge und Stoppmarge (vgl. Bild 5) liegen. Eine Unterscheidung der angezeigten Kriterien nach den Auswirkungen des aufgetretenen Systemfehlers (z. B. Seitenwindanfälligkeit, erhöhter Treibstoffbedarf, Einschränkungen der Low Visibility-Fähigkeiten) oder individuellen Vorlieben der Piloten könnte ebenfalls sinnvoll sein. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Optionen zu filtern, sodass nur Optionen angezeigt werden, die ausgewählte Kriterien zu einem Mindestmaß erfüllen (z. B. mindestens 300 m Stoppmarge).

Während eines Fluges beobachten die Piloten das Wetter entlang der geplanten Flugroute und bereiten sich mental auf mögliche Ausweichszenarien vor. Dabei könnte ein Assistenzsystem durch eine automatisierte Bereitstellung aller relevanten Daten unterstützen. Es wäre außerdem denkbar, dass die Piloten dabei durch Interaktion mit dem Assistenzsystem abhängig von den aktuellen Bedingungen (z. B. Wetterlage) für zeitkritische Fehler Szenarien geeignete Optionen, oder möglicherweise auch die jeweils beste Option erarbeiten. Bei Eintritt des Fehlerfalls könnten diese Optionen besonders hervorgehoben werden, um bei unveränderten Randbedingungen eine möglichst schnelle Entscheidung treffen zu können. Alternativ könnten die Piloten auch einzelne Flughäfen als ungeeignet einstufen, sodass diese im Fehlerfall nicht mehr betrachtet werden müssten.

Durch eine automatische Übernahme des erarbeiteten Ausweichflughafens in das Flight Management System kann die Arbeitslast der Piloten weiter reduziert werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Piloten begrüßen ein System zur Unterstützung bei der Vorauswahl geeigneter Ausweichflughäfen und äußerten im Anschluss an die Durchführung der Szenarien zum Teil konkrete Vorschläge und Wünsche. Diese sind zusammen mit allen aus einem zugehörigen Fragebogen abgeleiteten Anforderungen im vorherigen Kapitel vorgestellt worden. Ein wichtiges Kriterium für die Akzep-

tanz des Systems ist die Nachvollziehbarkeit durch eine transparente Bewertung (vgl. auch [1]). Hierzu kann eine Bewertung nach klar definierten Kriterien beitragen. Bei der Auswertung der Studie zeigten sich Unterschiede in der Bewertung von Optionen, die u. a. auf persönliche Erfahrungen zurückgeführt werden können. Daher kann es sinnvoll sein, persönliche Grenzwerte der Piloten bei der Bewertung und Darstellung von Optionen zu berücksichtigen. Bei geeigneter Darstellung und Menüführung könnte ein solches Assistenzsystem auch im Zweipersen Cockpit helfen, nicht beachtete Optionen in den Fokus zu rücken und falsch erinnerte Informationen und Annahmen aufzudecken. Unter Berücksichtigung aller gewonnenen Erkenntnisse soll nun ein Assistenzsystem entwickelt werden, welches anschließend in einer weiteren Studie getestet wird.

Kontaktadresse:

Gregor.Schmitz@dlr.de

Literatur

- [1] Arik-Quang V. Dao, Kolina Koltai, Samantha D. Cals, Summer L. Brandt, Joel Lachter, Michael Matessa, David E. Smith, Vernol Battiste und Walter W. Johnson. „Evaluation of a Recommender System for Single Pilot Operations“. *Procedia Manufacturing* 3 (2015). 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, S. 3070–3077. ISSN: 2351-9789. DOI: [10.1016/j.promfg.2015.07.853](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.853).
- [2] Piotr Grzybowski und Ewelina Szpakowska-Peas. „Flight reconfiguration system – an emergency system of the future“. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 92.9 (Jan. 2020), S. 1393–1399. ISSN: 1748-8842. DOI: [10.1108/AEAT-03-2020-0052](https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2020-0052).
- [3] Conceptboard Cloud Service GmbH. *Conceptboard*. 2022. URL: <https://conceptboard.com/de/>.
- [4] SimBrief by Navigraph. *SimBrief Dispatch System*. 2022. URL: <https://dispatch.simbrief.com/home>.
- [5] *Flight Crew Operating Manual A320 (D-ATRA)*. Vol. 3 Flight Operations. Airbus, 2009.
- [6] *Quick Reference Hand Book*. A320 (D-ATRA). Airbus, 2010.
- [7] Jan-Philipp Buch und Gregor Schmitz. „DLR-Projekt NICO: Virtuell oder vor Ort? Erkenntnisse über die Onlinedurchführung einer Pilotenstudie zur Entscheidungsfindung“. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2023.
- [8] Guillermo Ballester Valor. *Ogimet (METAR/TAF-Datenbank)*. 2022. URL: <https://www.ogimet.com/metars.phtml.en>.
- [9] Gesine Hofinger, Solveig Proske, Henning Soll und Gunnar Steinhardt. „FOR-DEC Co - Hilfen für strukturiertes Entscheiden im Team“. 2014.

- [10] Timo Nowack. *D-AICP in Kavala - Condor repariert gestrandeten Airbus A320 in gigantischem Zelt*. 2022. URL: <https://www.aerotelegraph.com/kavala-condor-repariert-gestrandeten-airbus-a320-in-gigantischem-zelt>.
- [11] Airbus SAS. *5 reasons pilots love flying the A350*. 2023. URL: <https://aircraft.airbus.com/en/5-reasons-pilots-love-flying-the-a350>.

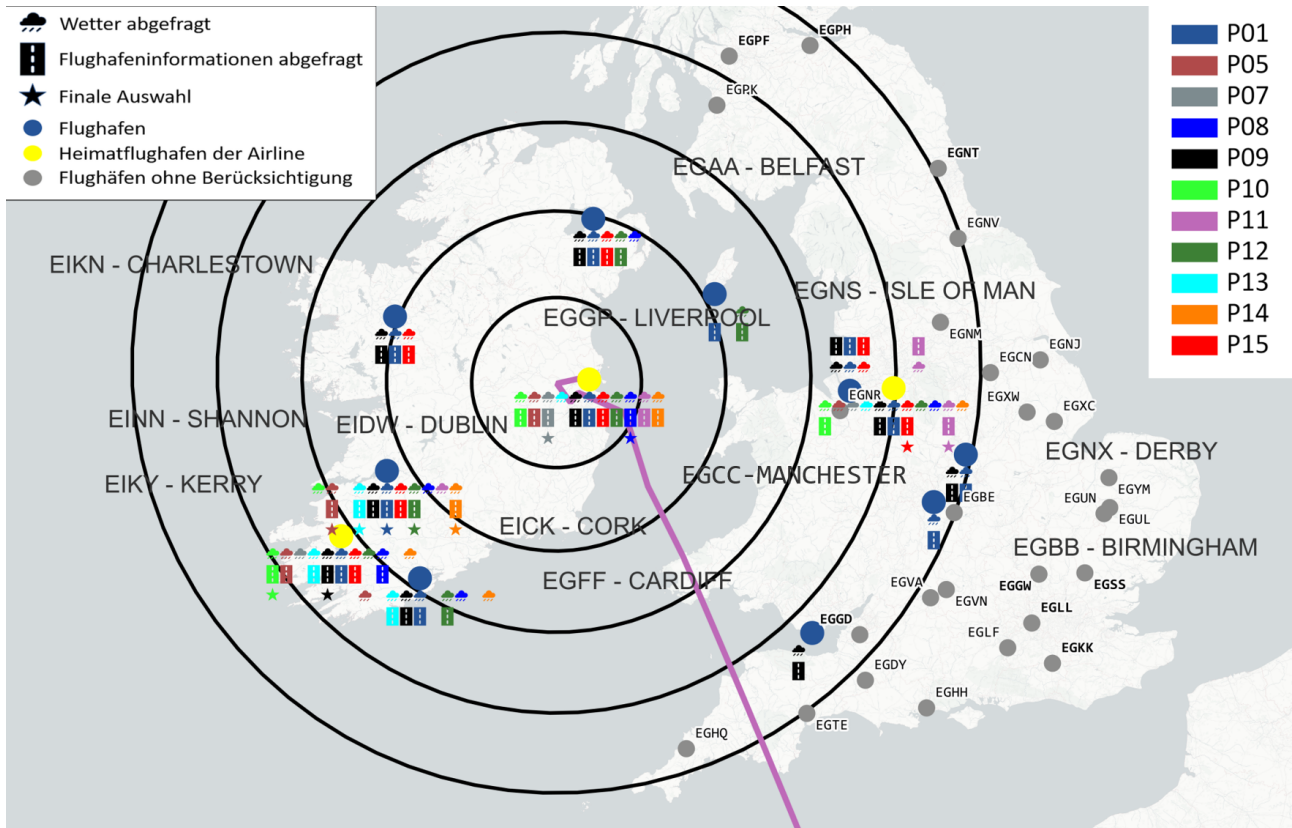


BILD 7. Übersichtskarte mit allen Flughäfen aus Szenario 2 inkl. Darstellung abgefragter Informationen und Entscheidungen aller Piloten (Wolke: Wetterabfrage, Landebahnsymbol: Abfrage von Flughafenendaten, Stern: final gewählte Option) sowie Entfernungsringen (40 NM Radius)

TAB 3. Abgrenzung der Hauptkriterien anhand beispielhafter Einflussfaktoren

Hauptkriterien	Beispielhafte Einflussfaktoren
Anflugverfahren	Präzisionsanflug, Fehlanflugverfahren, Navigationsanlagen, Landehilfen, Luftraumstruktur, Low Visibility Procedures (LVP)
Backupmöglichkeiten	Zweite Landebahn, viele Flughäfen in der näheren Umgebung, Anzahl möglicher Go-Arounds
Eigene Erfahrung / Kenntnis des Flughafens	Flughafen wird täglich angeflogen, Flughafen noch nie angeflogen
Flugzeugperformance	Flugplatzhöhe, Steiggradient, Hindernisfreiheit, Auswirkungen von Systemausfällen
Infrastruktur	Wartungsmöglichkeiten, Rescue and Fire Fighting Services (RFFS), Medizinische Versorgung, Routennetz (Anschlussflüge)
Seitenwind	Bahnausrichtung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Böen
Stoppmarge	Landebahnlänge, Auswirkungen von Systemausfällen, Bahnzustand, Flugzeuggewicht
Treibstoffmenge (Distanz)	Go-Around, Holding, Treibstoffverbrauch
Wetter	Gewitter, Turbulenz, Windscherung, Vereisungsbedingungen, Sichtweiten