

Gestaltungskriterien für Szenarien in Flugsimulatoren zur Untersuchung von Verhalten und Leistung von Verkehrspiloten

Ekkehart Schubert & Andreas Haslbeck

Zusammenfassung

Piloten unterliegen – sowohl in ihren komplexen Arbeitsumgebungen als auch im Zusammenspiel mit dem organisatorischen Umfeld im Flugverkehr (Flugsicherung, Flugbetrieb, Flugplanung) sowie der Technik – dem zunehmenden Einfluss von Automation. Viele Aufgaben, welche in der Vergangenheit manuell und aktiv von den Flugzeugführern zu erledigen waren, sind heute an technische Systeme abgegeben und den Piloten fällt die Aufgabe des Überwachens zu. Unter diesen Umständen verlieren Piloten ihre eigentlichen Aufgaben und Fertigkeiten (Ebbatson, 2009; Schubert & Haslbeck, 2011; Haslbeck et al., 2012). In diesem Beitrag werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie mittels komplexer Szenarien in Flugsimulatoren das Verhalten von Piloten beeinflusst werden kann und welche Randbedingungen hierfür notwendig sind. Es wird gezeigt, wie die Fähigkeiten der Piloten sinnvoll gemessen und bewertet werden, wenn z.B. die Automation unvermittelt die Kontrolle über das Flugzeug an den Piloten übergibt. Dabei ist es für die Flugzeugführer notwendig, einerseits das Flugzeug – häufig manuell – zu fliegen und andererseits auf die technischen Probleme adäquat zu reagieren. Das zu erreichende Ziel ist in jedem Fall eine sichere Landung, welche gegebenenfalls an einem vorher nicht geplanten Flughafen stattfindet.

1 Einleitung

Automation hat in der Luftfahrt eine rasante Entwicklung vollzogen. Billings (1991) untergliedert diese in *Control Automation*, *Information Automation* und *Management Automation*. Dadurch zeigt er, dass beginnend bei der Flugzeugsteuerung im engeren Sinne (Autopilot, *Fly-by-Wire*-Technologie) über die Aufbereitung von Informationen (Glass Cockpits mit *Electronic Flight Information System* - EFIS) und Überwachung kritischer Zustände (*Traffic Collision Avoidance System* - TCAS) bis hin zur vollständigen Durchführung eines Fluges (*Flight Management System*, *CAT III Auto Land*) Automation Einzug gehalten hat. All diese Systeme sind mit einem gewissen Grad an technischer Ausfallsicherheit ebenfalls von Menschen entwickelt worden und können durch Bedienfehler, Messungenauigkeiten und -ausfälle in einer Verkettung von ungünstigen Umständen zu einem Unfall führen. Zur Abwendung dieser Unfälle

befindet daher der Mensch als verantwortlicher Operateur (*last line of defence*) im Cockpit eines Flugzeuges oder auch am Bedienpult eines unbemannten Flugobjekts. Da Fehler der Automation in diesem komplexen Zusammenwirken nicht vorhersehbar sind, wird vom Piloten erwartet, dass er dem System nicht „blind vertraut“, sondern in seiner monitiven Rolle ständig aufmerksam bleibt. Bainbridge (1983) bezeichnet dies treffend als „Ironie der Automation“. Es ergeben sich daher drei interessante Problemfelder für die Untersuchung von Verhalten und Leistung von Piloten sowie der Definition entsprechender Szenarien: Übersteigertes Vertrauen in die Automation sowie die eigenen Fertigkeiten (*Complacency*) in Zusammenhang mit dem Auftreten von Fertikeitsverlusten (*Skill Degradation*) und dem Verlust des Situationsbewusstsein (*Loss of Situation Awareness*). Kurzfristig kann die Verwendung von Automation dazu führen, dass sich Piloten nicht mehr über alle Flugzustände bewusst sind (*out-of-the-loop*) und beim plötzlichen Ausfall nicht adäquat reagieren können. Langfristig führt die häufige und ökonomische Verwendung hoher Automationsgrade bei Piloten bewusst oder unbewusst einerseits zur Annahme einer unrealistisch hohen Ausfallsicherheit dieser Systeme und andererseits zur seltenen manuellen Bedienung. Dies begünstigt den Abbau manueller Fertigkeiten, hauptsächlich in der Flugzeugsteuerung. Diese Entwicklungen wurden von Wiener & Curry (1980) bereits vor mehr als dreißig Jahren klar beschrieben. Ein weiterer und möglicher Fortschritt im Umgang mit der Automation kann einerseits durch Verbesserung des Designs (Adaption der Automation an den Menschen) erreicht werden, lässt sich andererseits aber auch durch Training der Nutzer verringern und im besten Fall sogar vermeiden (Adaption des Menschen an die Automation).

2 Motivation und Zielsetzung

In Flugsimulatoren werden häufige Unfallsituationen und Systemfehler wiederholbar reproduziert und als Szenarien definiert, was den hauptsächlichen Einsatzzweck dieser Trainingsgeräte für Piloten darstellt. Im Rahmen gesetzlich vorgeschriebener und europaweit standardisierter Trainingsprogramme werden alle Piloten überprüft und lizenziert. Hierbei werden kritische Situationen (*Abnormals*) mit Hilfe von standardisierten Prozeduren und Checklisten von der Cockpitcrew (Kapitän und Erster Offizier) gemeinsam bearbeitet und von ein bis zwei Beobachtern (*Checker*) überprüft. Die ungefähren Inhalte der Prüfungen sind den Crews bereits im Vorfeld bekannt und auch dem *Checker* bleibt wenig Spielraum für individuelles Training. Casner et al. (2013) sowie Nikolic & Sarter (2007) untersuchten daher, wie Piloten auf Situationen reagieren, die von den trainierten Fällen abweichen. Es zeigt sich bei Casner et al. (2013), dass die Piloten im unerwarteten Fall Schwierigkeiten haben, das Problem sofort zu erkennen. Nach den Erkenntnissen von Nikolic & Sarter (2007) werden Fehler meist nur erkannt und behoben, aber nicht ausreichend hinterfragt. Nicht-antizipierte Gefahrenmomente können daher die Besatzung überraschen und zu einer

vorübergehenden Verunsicherung führen, wenn sie sich nicht klar einordnen lassen und nicht per Standardverfahren angegangen werden können. Im von Hörmann et al. (2008) beschriebenen ESSAI-Projekt wurde in einem neu entwickelten Trainingskonzept der Versuch unternommen, die Trennung technischer und nicht-technischer Fertigkeiten aus bestehenden Trainingslösungen (z.B. *Human Factors*-Trainings oder *Crew Resource Management*) zu integrieren. Hierbei konnten positive Effekte nachgewiesen werden. Die im Jahr 2002 entwickelten Kompetenzmerkmale bezogen sich damals auf Situationsbewusstsein und Gefahrenmanagement und wurden aktuell für das von der International Civil Aviation Organization (2013) standardisierte und international in der Umsetzung befindliche Trainingskonzept (*Evidence-based Training* - EBT) auf acht Kernkompetenzen für Verkehrspiloten erweitert:

- Anwenden von Vorschriften (*Application of Procedures*) beinhaltet das abrufbare Wissen und sichere Beherrschen vielfältiger Routinen und Prozeduren auch unter erschwerten Bedingungen – sowie die Bereitschaft des Einzelnen, sich an diese Vorschriften zu halten. Dies beinhaltet dadurch auch die üblichen technischen Trainingsinhalte, die für das spezifische Flugzeug in unterschiedlichsten Situationen trainiert werden müssen, z.B. normales Durchstartmanöver oder eines mit einem abgestellten Triebwerk.
- Kommunikation (*Communication*) als Fähigkeit, situativ adäquate und teils formalisierte Kommunikationsregeln einzuhalten. Dies ist nicht nur auf Sprache, sondern auch auf Gestik und schriftlichen Austausch bezogen und wird wiederum in normalen sowie abnormalen Situationen angewandt.
- Automatisiertes Fliegen (*Aircraft Flight Path Management, automation*) d.h. der Pilot bzw. die Crew überwacht die Automation, bedient den Autopiloten, plant den Flugweg über den Bordcomputer (Flight Management System) und überwacht weitere Systeme. Die Aufgabenverteilung zwischen Pilot Flying und Pilot Monitoring erfolgt in Bezug auf die operative Flugaufgabe (Bedienung der Automation) und Einhalten der Flugleistungsgrenzen.
- Manuelles Fliegen (*Aircraft Flight Path Management, manual*) d.h. Bedienung der primären manuellen Flugsteuerung (Steuerhorn/Sidestick, Ruderpedale und Schubhebel) sowie manuelles Einhalten von Flugleistungsgrenzen. Bei modernen Flugzeugen (Fly-by-Wire) bedeutet dies auch die manuelle Bedienung von teilautomatisierten Prozessen (z.B. Sidestick als Eingabegerät zur Vorgabe eines definierten Flugzustandes).
- Führungs- und Teamfähigkeit (*Leadership and Teamwork*) beinhaltet eine klare Aufgabenverteilung innerhalb der Crew und den konstruktiven Umgang mit Meinungsvielfalt sowie die Entwicklung eines gemeinsamen mentalen Modells bis hin zu einem verbesserten Situationsbewusstsein.

- Problembewältigung und Entscheidungsfindung (*Problem Solving and Decision Making*) d.h. die Fähigkeit zur sinnvollen Reduktion der Komplexität einer Situation und Entscheidungsfindung in einem gemeinsamen mentalen Modell der Crew und externer Unterstützer (z.B. Flugsicherung, *Operation Control Center*).
- Situationsbewusstsein (*Situation Awareness*) beschreibt die Fähigkeit der Piloten, sich über aktuelle und zukünftige Zustände des Flugzeugs und der Umwelt ein entsprechendes Bild zu erarbeiten.
- Umgang mit der Arbeitsbelastung (*Workload Management*) d.h. die Fähigkeit von Piloten, in zeitkritischen Situationen die Aufgaben zu priorisieren und dabei einen Gesamtüberblick zu behalten, um überlegt zu handeln. Auch der Einsatz geeigneter Hilfsmittel, wie z.B. Notizzettel und Checklisten, hilft die Arbeitsbelastung zu moderieren.

Zukünftige Trainingskonzepte sehen daher die Definition komplexerer Szenarien vor, welche die genannten Kompetenzen von Piloten im Fokus haben (Appel & Schubert, 2013). Diese Konzepte sollten das jeweilige Flugzeugmuster und dessen Grad an Automation berücksichtigen sowie auch das komplexe Arbeitsumfeld und den organisatorischen Leistungsdruck abbilden können.

3 Methodik

Die acht Kernkompetenzen liefern auch eine gute Orientierung dafür, welche Aufgabenkomplexe sich experimentell untersuchen lassen. Für wissenschaftliche Studien steht dabei meist das Messen und Bewerten des Verhaltens von Piloten hinsichtlich der hier genannten Aspekte im Vordergrund. Stark ausgeprägte fliegerische Fähigkeiten in all diesen Bereichen werden zusammenfassend häufig auch als *Good Airmanship* bezeichnet. Das Aufzeichnen bzw. Messen menschlichen Verhaltens wird durch eine Beobachtung menschlicher Informationsverarbeitung vollzogen. Dieser Prozess erfolgt grundsätzlich in drei Schritten: Informationsaufnahme (*Perception*), Informationsverarbeitung (*Cognition*) und Informationsumsetzung (*Execution*). Die Informationsaufnahme lässt sich teilweise gut, die -umsetzung sehr gut im Experiment messen, während sich Kognition nicht direkt beobachten lässt, sondern Rückschlüsse nur aufgrund der resultierenden Handlungen möglich sind.

Eine sehr wichtige Methode zur Messung der menschlichen Informationsaufnahme stellt die Blickerfassung dar (Haslbeck et al., 2014b). Diese zeichnet auf, welche Informationen visuell aufgenommen werden, was für aktive sowie monotone Aufgaben von Piloten eine Rolle spielt. Mittels Tonaufzeichnung lassen sich dargebotene akustische Informationen festhalten. In beiden Fällen lassen sich jedoch nur die sensorisch aufgenommenen Informationen aufzeichnen; ob diese vom Operateur (in diesem Fall den Piloten) wahrgenommen werden, unterliegt bestimmten Hypothesen (z.B. *Eye-Mind-Hypothesis*). Zur Unterstützung dieser Annahmen ist eine Aufzeichnung des resultierenden Verhaltens von Piloten nötig.

Bei der Verwendung von Flugsimulatoren zur Darbietung realitätsnaher Szenarien ist die Aufzeichnung von Flugdaten sowie der durch die Piloten erfolgten Bedieneingaben wichtig. Daneben stellen Audio- und Videoaufzeichnungen wichtige Datenquellen zur Beobachtung von Verhalten und Kommunikation dar. Diese liefern auch nachträglich die Möglichkeit der Fremdbeurteilung der gezeigten fliegerischen Leistung. Mittels dieser genannten Aufzeichnungsmöglichkeiten lassen sich Daten zur Beurteilung der acht Kernkompetenzen festhalten.

Im Folgenden wird auf einige der Einzelaspekte eingegangen und es werden konkrete Vorgehensweisen erläutert. Wenn dabei Leistung und Verhalten mehrerer Piloten oder Crews miteinander verglichen werden sollen, ist es notwendig, dass der Versuchsablauf in einem hochgradig standardisierten Ablauf erfolgt. Da aber Variationen in Flugrouten oder zeitlichen Abläufen möglich sind, sind Versuchsergebnisse dadurch nur schwer oder nicht miteinander vergleichbar.

Das Anwenden von Vorschriften und Checklisten ist teilweise stark fragmentiert. Daher ist eine Beurteilung, ob die sog. *Standard Operating Procedures* (SOP) eingehalten werden, nur durch Experten mit fliegerischem Sachverstand und *Type Rating* des im Experiment behandelten Flugzeugtyps möglich.

Zur Bewertung manuellen Fliegens eignen sich die von Flugsimulatoren aufgezeichneten Daten nur dann sehr gut, wenn sich diese mit Anforderungen und Sollwerten (z.B. beim Instrumenten Landesystem - ILS) vergleichen lassen. Analog dazu verhält es sich, wenn das über Autopilot und Flight Management System unterstützte Fliegen gemessen wird, wobei hier zum manuellen Fliegen stark abweichende Fähigkeiten betrachtet werden: für automatisiertes Fliegen sind Systembedienung und Hintergrundwissen essentiell, während beim manuellen Fliegen psychomotorische Fertigkeiten die wesentlichste Rolle spielen.

Zur Bewertung fliegerischer Leistung genügt grundsätzlich ein Pilot als Versuchsperson, während für viele der anderen genannten Kompetenzen eine Crew als Team notwendig ist, um die entsprechenden Handlungen zu beobachten.

Um Kommunikation, Führungs- und Teamfähigkeit, Problemlösen, Entscheidungsverhalten und den Umgang mit einer hohen Arbeitsbelastung zu analysieren, sind vor allem Ton- und Videoaufzeichnungen notwendig, welche in der Regel nachträglich von Experten mittels einschlägiger psychologischer Methoden bewertet werden müssen. Beispielsweise lässt sich die Kommunikation mittels „Sprechakt-Typeninventar zur Analyse von Cockpit-Kommunikation“ analysieren (Krifka et al., 2004). Es kann dabei von Vorteil sein, wenn getrennte Tonspuren verwendet werden, beispielsweise jeweils eine eigene für beide Piloten und die Fluglotsen, falls vorhanden. Jedoch basieren hier einige der Bewertungsmethoden auf subjektiven Expertenbeurteilungen, bei denen auf gleiches Bewertungsverhalten der eingesetzten Experten zu achten ist (*Inter-Rater Reliability*).

Das Situationsbewusstsein ist ein versuchstechnisch schwer handhabbares Konstrukt, wenngleich mehrere Erfassungsmethoden existieren – Stanton et al.

(2005) liefern hierzu eine Übersicht. Eine davon etwas abweichende Strategie ist die Aufteilung in einzelne Aspekte und deren konkrete Überprüfung, z.B. das visuelle Überprüfen der Anfluggeschwindigkeit im Endanflug, was für *Speed Awareness* ein wichtiges Kriterium darstellt (Gontar & Haslbeck, 2012).

Tab. 1: Empfehlungen bzgl. der Rahmenbedingungen für experimentelle Studien mit Piloten
(Anmerkungen zur Codierung, 0: nicht möglich/nicht empfehlenswert, 1: notwendige Voraussetzung, 2: empfohlene Voraussetzung, 3: nicht notwendig, aber möglich.)

	Automatisiertes Fliegen	Manuelles Fliegen	Anwenden von Vorschriften	Kommunikation	Führungs- und Teamfähigkeit	Problembewältigung & Entscheidungsfindung	Situationsbewusstsein	Umgang mit Arbeitsbelastung
1 Versuchsperson (VP)	1	1	1	0	0	0	0	0
1 VP, 1 Standard Pilot	2	2	2	1	1	1	1	1
2 VPs	2	2	2	2	2	2	2	2
ATC und Sprechfunk	3	3	2	2	3	1	2	1
Full-Flight Simulator	3	2	3	3	3	3	2	3
Fixed-Base Simulator	2	1	3	2	2	2	1	2
Procedure Trainer	1	1	1	1	1	1	1	1
Simulatordaten	1	1	2	2	2	2	1	2
Blickverhalten	2	2	2	3	3	2	1	2
Audioaufzeichnung	3	3	1	1	1	1	1	1
Videoaufzeichnung	2	3	1	2	1	1	1	1
standardisiertes Szenario	1	1	2	3	3	3	2	2
flexibles Szenario	3	3	3	3	2	2	3	2

Tabelle 1 zeigt zusammenfassend Empfehlungen hinsichtlich der Rahmenbedingungen für experimentelle Studien mit Piloten. Dabei wird im ersten Teil unterschieden, bei welchen Experimenten eine Versuchsperson oder zwei Piloten notwendig sind. Dabei ist zu unterscheiden, ob der zweite Pilot (häufig in der Rolle des Pilot Monitoring) zum Versuchsteam gehört und eine vorab definierte

Rolle spielt (Standard Pilot) oder eine echte zweite Versuchsperson darstellt. Der zweite Bereich der Tabelle unterscheidet verschiedene Ausprägungen von Flugsimulatoren vom sehr einfachen *Procedure Trainer* bis hin zum *Full-Flight Simulator* und zusätzlich, ob realistischer Sprechfunk des umgebenden Luftraumes und der Fluglotsen notwendig ist. Der dritte Bereich spezifiziert, welche Datenquellen aufgezeichnet werden sollten, während im vierten Bereich unterschieden wird, ob ein Szenario hochstandardisiert und linear ablaufen muss oder ob unterschiedliche Lösungsstrategien der Piloten zugelassen werden können.

4 Gestaltung von Szenarien

Das EBT-Konzept stützt sich auf empirisch ermittelte Daten unterschiedlicher Quellen aus den letzten 20 Jahren Flugbetrieb, Training sowie Beobachtung und darauf aufbauende Erkenntnisse. Neben der Berücksichtigung der acht Kernkompetenzen sollten nach diesen Erkenntnissen die Szenarien flugzeugspezifisch definiert werden. Die aktiven Flugzeuge westlicher Bauart wurden von der ICAO (2013) in vier Generationen aufgeteilt (Tab. 2). Hierbei wird insbesondere der Grad der Automatisierung berücksichtigt, somit wird z.B. die relativ neu entwickelte Boeing B747-8 aufgrund einer konventionellen Flugsteuerung weiterhin als Generation 3 – Jet eingeordnet.

Tab. 2: Jet Aircraft-Generationen (aus ICAO, 2013)

Generation 4 – Jet Fly-by-Wire Flight Envelope Protection	Airbus A320-Familie (neo), A330/A340-Familie, A380, A350 Embraer E170/E175/E190/E195 Boeing B777 und B787 Bombardier C Series
Generation 3 – Jet Glass-Cockpit Navigation Display FMS Computer	Airbus A300-600, A310, BAE 146 Fokker F70 und F100 Boeing B717, B737-x00 (NG) (MAX), B757/767, B747-400, B747-8 McDonnell Douglas MD11, MD80, MD90 Bombardier CRJ Series Embraer ERJ 135/145
Generation 2 – Jet	Airbus A300 BAC111 Fokker F28 Boeing B727, B737-100/200, B747-100/200/300 Douglas DC-9 DC-10 Lockheed L-1011
Generation 1 – Jet	Douglas DC-8 Boeing B707

Für die neueren Generationen 3 und 4 werden von den Trainingsorganisationen typenspezifische Flugsimulatoren betrieben. Nach der Grundausbildung von Piloten werden diese auf maximal zwei Flugzeugtypen lizenziert (d.h. gesetzlich

überprüft) und wiederkehrend geschult (*Recurrent Training*). Bisher durchliefen Piloten hierfür sehr starre und einheitliche Trainingsprogramme. Die Vorschrift Nr. 965/2012 der Europäischen Kommission (2012), umgesetzt durch die European Aviation Safety Agency (EASA), wurde mit OPS 1.978 dahingehend erweitert, dass Airlines spezifische Trainingsprogramme wie das *Alternative Training and Qualification Programme* (ATQP) entwickeln und zulassen können. Dies erfordert zwar mehr Aufwand bei der Erhebung und Auswertung von Daten, ermöglicht aber gezieltes Training und Feedback an die Piloten, wie es auch bei der Entwicklung von Szenarien für die Untersuchung von Verhalten und Leistung von Piloten erforderlich ist. Daher müssen auch flugzeugspezifische Eigenschaften im komplexen Umfeld (Fehlfunktionen, Reliabilität, Warnlichter und -töne usw.) eines Flugsimulators abgebildet werden. Hinzu kommen weitere Stressoren wie Bewegungssimulation und die abgeschlossene Enge und Klimatisierung, was derzeit nur in einem Full-Flight-Simulator gegeben ist (Lehmann & Schubert, 2011).

Nach der Auswahl von geeigneten Methoden sollte die für die Evaluation zur Verfügung stehende Versuchszeit bzw. das Budget für Experimente im Flugsimulator effektiv genutzt werden. Üblich sind Trainingseinheiten als Slots zu jeweils vier Stunden. Diese Slots begründen sich aus den klassischen Checkflügen zum Erhalt der Lizenz, die aus zwei Blöcken mit ca. zwei Stunden bestehen. Eingerechnet sind hierbei auch Zeiten zum Betreten und Verlassen des Simulators, für den Crewwechsel und eine Pause. Für die Crew und den Instruktor werden dann innerhalb des Slots auch Zeiten zur Vorbereitung des Simulators (z.B. Checklisten und SOPs) und für eventuelle Wiederholungen vorgesehen.

Szenarien, die einen gesamten Flug ohne Unterbrechungen beinhalten, wurden unter dem Begriff *Line-oriented Flight Training* (LOFT) bereits im Rahmen des CRM-Trainings eingeführt. Hierbei fliegt eine Crew einen Flug von A nach B in Echtzeit und wird dabei vom Instruktor beobachtet. Häufig werden auch technische Fehlfunktionen eingebaut (Civil Aviation Authority, 2002). Im ESSAI-Experiment wurden solche Szenarien definiert und nahmen teilweise über eine Stunde in Anspruch (Hörmann et al., 2008). Der Zeitbedarf im LOFT-Szenario ist sehr hoch und die Vorbereitung besonders aufwändig. Es können jedoch alle Flugphasen in das Szenario einbezogen werden. Die längste Flugphase, mit ca. 57% der gesamten Zeit, stellt nach Boeing (2013) der Reiseflug dar (Bild 1). Aus der Unfallstatistik ereigneten sich in den Jahren 1959 bis 2012 in dieser Phase jedoch nur 9% der fatalen Unfälle. Dem gegenüber steht die Summe der Flugphasen Anflug und Landung mit nur 16% Anteil an der Flugzeit, wo sich jedoch mehr als die Hälfte (54%) der Unfälle ereignen.

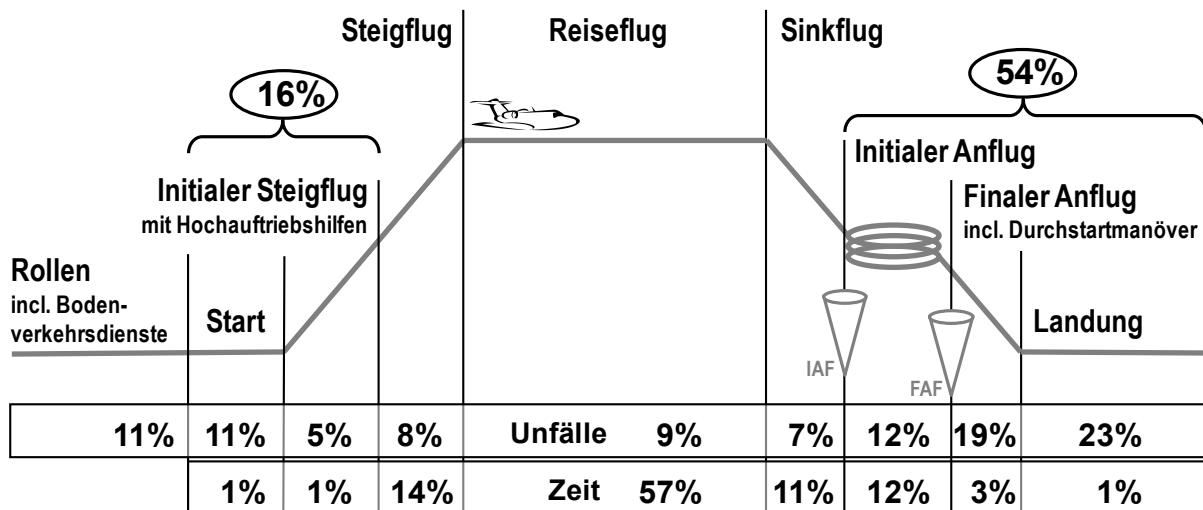


Bild 1: Fatale Unfälle sowie Zeitbedarf prozentual bezogen auf die Flugphasen in den Jahren 1959 bis 2012 (aus Boeing Commercial Airplanes, 2013)

Die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen, konzentrieren sich daher auf Anflug und Landung. Hier kann ein ausführliches Briefing der Situation bereits im Vorfeld, d.h. außerhalb des Simulators, erfolgen. Die Versuchszeit beschränkt sich auf einen kurzen Ausschnitt des Gesamtfluges, und durch eine definierte Kraftstoffmenge kann beispielsweise die Restflugzeit auf einen planbaren Rahmen festgelegt werden (Haslbeck et al., 2014a). Meist erfolgen aeronautische Studien zu wissenschaftlichen Fragestellungen, wie verbesserte An- und Abflugverfahren, nur in kurzen Flugabschnitten aus einer immer wiederholten Ausgangsposition (Schubert et al., 2005; Schubert & Fricke, 2007; König & Schubert, 2011). Es wird hierbei mit einer Crew eine große Anzahl von Szenarien in rascher Folge abgeflogen. Ermüdungserscheinungen und Lerneffekte schmälern jedoch die Aussagekraft zu Pilotenleistungen, und Vereinfachungen im Ablauf lassen keine Rückschlüsse auf ein Verhalten unter realen Bedingungen zu. In einem weiteren wissenschaftlichen Experiment zu Pilotenverhalten in einer Extremsituation (rapider Druckverlust und der Pilot ist für den weiteren Flugverlauf auf sich alleine gestellt) wurde das Szenario gemeinsam als Crew begonnen (Startvorgang und Steigflug), eine Positionierung auf den Reiseflug durchgeführt (das ist den Piloten aus dem Training bekannt) und gemeinsam einige Prozeduren abgearbeitet. Der Versuch wurde anschließend unter dem Vorwand, ein Pilot verlässt das Cockpit wegen dringender persönlicher Bedürfnisse, geteilt: einer der beiden Pilot hat den Simulator dann wirklich verlassen und der zweite verblieb im Simulator, um das eigentliche Experiment zu fliegen (Appel & Schubert, 2011).

Zertifizierte Full-Flight-Simulatoren unterliegen Vorgaben, die auch die technische Abbildung einer realen Umgebung vorschreiben (Lehmann & Schubert, 2011). Hierzu gehört in erster Linie ein Sichtsystem, was die Topographie abbildet und Wetterbedingungen darstellt. Zur Zertifizierung werden definierte Sichtweiten und die sichere Erkennbarkeit der Landebahn mit ihrer Anflug-

befeuern gefordert. Der Flughafen selbst mit seinem Rollbahnsystem kann als zusätzlicher Stressor genutzt werden, jedoch ist die Darstellung meist sehr rudimentär und entspricht nur bei schlechter Sicht dem Original zufriedenstellend. Die Bewegungsplattform des Flugsimulators kann Turbulenzen und Beschleunigungskräfte darstellen, dies unterstützt den Realitätsgrad und lässt bei guter Qualität die Crew somit schneller in gewohnte Arbeitsweisen und Verhalten verfallen. Ein wichtiger weiterer Stressor ist die Kommunikation mit der Flugsicherung und weiteren Personen, wie z.B. der Kabinenbesatzung. Im Trainings- und Ausbildungsbetrieb übernimmt der Instruktor im Flugsimulator die Rolle des Fluglotsen, der Kabinencrew und auch weiteren Personen am Boden.

In dem von der Deutschen Lufthansa und der DFS Deutsche Flugsicherung entwickelten JOINT-Training können in einem Verbund von Flugsimulatoren auf der einen und Flugsicherungssimulatoren auf der anderen Seite auch Fluglotsen auf zwei definierten Frequenzen hinzugeschaltet werden (Leemüller et al., 2013). Die Lotsen sehen das Flugzeug mit Kennung auf ihren Radarbildschirmen und geben von einer Position außerhalb des Simulators Anweisungen an die Crew. Die Situation im Cockpit ist ihnen nur soweit bekannt, wie sie über die simulierte Sprechfunkverbindung von der Cockpitbesatzung beschrieben wird. Der personelle Aufwand für ein solches Szenario mit mehreren Flugsimulatoren, oder aber auch mit Pseudopiloten an vereinfachten Arbeitsplätzen (auch Simulationspiloten genannt), ist sehr hoch.

Eine Versuchsreihe ist nicht ohne einen detaillierten und standardisierten Ablaufplan möglich, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen. Im Rahmen von LOFT-Trainings wird dem Instruktor eine sogenannte Lesson auf seinem Bedienelement des Simulators (*Instructor Operating System*) bereitgestellt. In diesem Lehr- oder Ablaufplan sind die wichtigsten Eckdaten wie Flughäfen, Wetter und Fehlfunktionen gespeichert, die dann manuell und teilweise auch automatisiert aktiviert werden. Gemäß der LOFT-Vorgaben sollten der Besatzung die zu erwartenden Systemfehler nicht mitgeteilt werden, um so die größtmögliche Realitätsnähe in Zusammenarbeit und Kommunikation zu erreichen (CAA, 2002). Hier weichen viele Airlines jedoch vom Konzept ab und geben den Crews vorab in einem Anschreiben Informationen zu den ungefähren Abläufen und Fehlfunktionen in den Szenarien. Die Piloten bekommen so die Möglichkeit, vorab Hintergrundinformationen zu beschaffen und sich vorzubereiten. Dies entspricht nicht der Realität, wo die Crew auch ein unerwartetes Ereignis ohne Vorbereitung beherrschen können muss.

Unerwartete Szenarien, wie z.B. ein plötzliches Hydraulikleck, sollten für die Crew erkennbar und auch abzuarbeiten sein. Alternative Flughäfen, Streckenführungen und Verfahren, die von der Crew als Lösungsstrategie in Anspruch genommen werden könnten, müssen für das Szenario zur Verfügung stehen (Haslbeck et al., 2014a). Dies erfordert ausgiebiges Testen der Szenarien im Vorfeld der Untersuchung (idealerweise bereits mit professionellen Crews). Es

müssen klare Abbruchbedingungen und Interventionen durch den Versuchsleiter festgelegt sein, wenn die Crew einen Weg einschlägt, der in einer negativen und eventuell auch traumatischen Erfahrung enden würde (z.B. eine Landung ohne Kraftstoff auf dem offenen Meer). In den Anhängen zum EBT-Konzept (ICAO, 2013) sind viele Beispiele für Szenarienelemente in Form einer Matrix für die Flugzeuggenerationen, Flugphasen und Trainingsziele aufgelistet. Auch aus dem LOFT-Dokument der Civil Aviation Authority (2002) lassen sich einige Randbedingungen und Erfahrungswerte in das Szenariodesign übertragen.

5 Diskussion

Viele der hier gestellten Anforderungen an Methoden und zur Gestaltung von Szenarien (wie Zufallsstichprobe, Full-Flight-Simulator, Expertise bei der Bewertung) lassen sich nur in Zusammenarbeit mit einer größeren Flugesellschaft umsetzen. Die bereits existenten Konzepte für nicht technische Kompetenzen wie CRM und LOFT-Training sollten im Flugsimulator mit technischen Kompetenzen kombiniert und unter Zeitdruck und erweiterten Randbedingungen wie z.B. realen Sprechfunk und Flugverkehr evaluiert und dann auch gezielt trainiert werden. Training mit bekannten Ereignissen und Systemfehlern ermöglicht es, diese gut vorzubereiten. Im Full-Flight-Simulator erfolgt dann das routinierte Abarbeiten durch die Crew. Dagegen gibt ein Training mit unbekanntem Ereignissen und Systemfehlern der Crew die Möglichkeit, eigene Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit zu erfahren, hierbei die Übersicht zu behalten und die Situation zu lösen. Klare Abbruchkriterien seitens des verantwortlichen Trainers/Versuchsleiters und positive Verstärkung (Wiederholung bei vereinfachten Bedingungen und gezielte Unterstützung) erhöhen den Trainingseffekt und verhindern negative Effekte bei den Piloten. Unerwartete Szenarien sind nah an der Realität. Abbruch oder Wiederholung wie im Full-Flight-Simulator sind in der Realität nicht möglich.

Einige der in diesem Beitrag erörterten Aspekte sind in der Lage, Automations-effekte an Piloten mittels der beschriebenen Methoden nachzuweisen. Die Ergebnisse und daraus abgeleitete Konsequenzen für Flugbetrieb und Trainingsabteilung sollten auch angewendet werden, um den weiteren Abbau von *Pilot Skills* (manuell, Umgang mit unbekanntem Situationen, Entscheidungsfindung usw.) zu verhindern. Automation wird im gesamten Umfeld eines Piloten weiterhin zunehmen, und auch die jetzigen Flugschüler werden in ihrer ganzen Karriere (zum Teil sogar vollständig) der Automation ausgesetzt sein, sie müssen aber nach wie vor Pilot Skills entwickeln und diese dann spätestens im Notfall auch konkret umsetzen können.

Literatur

Appel, B. & Schubert, E. (2011). Improved decompression training with modified oxygen mask with positive pressure. *Presented on the World Aviation Training Conference and Tradeshow* (WATS 2011), Orlando, Florida.

- Appel, B. & Schubert, E. (2013). Objektive Bewertung von Pilotenleistungen in Full-Flight-Simulatoren unter Normalbedingungen und in Notsituationen. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Ausbildung und Training in der Fahrzeug- und Prozessführung* (55. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, DGLR-Bericht, 2013-01, S. 119–137). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.
- Billings, C.E. (1991). Toward a Human-Centered Aircraft Automation Philosophy. *Journal of Aviation Psychology*, 1 (4), 267-270.
- Boeing Commercial Airplanes (2013). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2012*. Hg. v. Boeing Commercial Airplanes.
- Casner, S.M., Geven, R.W. & Williams, K.T. (2013). The Effectiveness of Airline Pilot Training for Abnormal Events. *Human Factors*, 55 (3), 477-485.
- Civil Aviation Authority (2002). *Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT)* – First edition 1 August 2002 – Originally published as ICAO Circular number 217-AN/132. Human Factors Digest No. 2, 1989, Civil Aviation Authority – Safety Regulation Group, West Sussex (UK), 2002
- Ebbatson, M. (2009). *The Loss of Manual Flying Skills in Pilots of Highly Automated Airlines*. PhD Thesis, Cranfield University. Cranfield
- Europäische Kommission (2012). *Verordnung (EC) Nr. 965/2012 der Europäischen Kommission zur Festlegung technischer Vorschriften und von Verwaltungsverfahren in Bezug auf den Flugbetrieb gemäß der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates*.
- Gontar, P. & Haslbeck, A. (2012). Untersuchung der Nutzung des Primary Flight Displays durch Piloten unterschiedlicher Trainiertheit mittels Blickerfassung. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Fortschrittliche Anzeigesysteme für die Fahrzeug- und Prozessführung* (54. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, DGLR-Bericht 2012-01, S. 263–271). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Haslbeck, A., Schubert, E., Onnasch, L., Hüttig, G., Bubb, H. & Bengler, K. (2012). Manual flying skills under the influence of performance shaping factors. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41 (Supplement 1/2012), 178-183.
- Haslbeck, A., Gontar, P. & Schubert, E. (2014a). How Can Procedures and Checklists Help Pilots in Abnormal Flight Situations? In N.A. Stanton, S.J. Landry, G. Di Bucchianico & A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Part II, pp 456–461). AHFE Conference.
- Haslbeck, A., Zimmermann, M. & Bengler, K. (2014b). Blickerfassung als Methode der Systemergonomie. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft* (Bericht zum 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 12.-14. März 2014, S. 632–634). Dortmund: GFA-Press.
- Hörmann, H.-J., Lehmann, O. & Schubert, E. (2008): ESSAI - Eine Trainingslösung für effektives Situationsbewusstsein und Gefahrenmanagement bei Flugzeugbesatzungen. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration* (DGLR Bericht 2008-04 S.287-297). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- International Civil Aviation Organization (2013). *Manual of Evidence-based Training* (First Edition) (Doc 9995), Montréal.

- König, R. & Schubert, E. (2011). On the Influences of an Increased ILS Glide Slope on Noise Impact, Fuel Consumption and Landing Approach Operation. In *Proceedings AIAC14 Fourteenth Australian International Aerospace Congress*, Feb 28 – Mar 3, 2011, Melbourne, Australia.
- Krifka, M., Martens, S. & Schwarz, F. (2004). Linguistic Factors. In T.M. Childress & R. Dietrich (Eds.), *Group interaction in high risk environments* (pp 75–85). Aldershot: Ashgate.
- Leemüller, R., Vierkant, H., Straßburger, A., Oblong, V., Müller, C. (2013). JOINT: Verbessertes Situationsbewusstsein durch gemeinsames simulationsgestütztes Training. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Ausbildung und Training in der Fahrzeug- und Prozessführung* (55. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, DGLR-Bericht 2013-01, S. 25–31). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Lehmann, O. & Schubert, E. (2011). Simulatoren für Luftfahrzeuge. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Handbuch der Ergonomie mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden* (Bd. 3, S. A-15.3.2). München: Hanser.
- Nikolic, M.I. & Sarter, N.B. (2007). Flight Deck Disturbance Management: A Simulator Study of Diagnosis and Recovery From Breakdowns in Pilot-Automation Coordination. *Human Factors*, 49 (4), 553-563.
- Schubert E. & Fricke M. (2007): *Abschlussbericht Verbundpartner TUB „Auswirkungen des Betriebs zweier Landeswellen auf einer Piste“*, Förderkennzeichen BMBF 20V0302B. - Verbund-Nr. 01024144, Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek Hannover.
- Schubert E., Lehmann O. & Hüttig G. (2005). Evaluation of the influence of noise abatement procedures to pilot's workload and safety by using an Airbus A330/340 Full Flight Simulator (PDF, 332,3 KB). In *Internoise 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Rio de Janeiro, Brasilien.
- Schubert, E. & Haslbeck, A. (2011). Evaluation manueller fliegerischer Leistung von Piloten anhand erfasster technischer Parameter in Flugsimulatoren hochautomatisierter Flugzeuge. In M. Grandt (Hrsg.). *Ergonomie im interdisziplinären Gestaltungsprozess* (DGLR-Bericht 2011-01, S. 163-173). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Stanton, N.A., Salmon, P.M., Walker, G.H., Baber, C. & Jenkins, D.P. (2005). *Human factors methods: A practical guide for engineering and design*. Aldershot: Ashgate.
- Wiener, E.L. & Curry, R.E. (1980). Flight-Deck Automation: Promises and Problems. *Ergonomics*, 23 (10), 995-1011.

Autoren

Dipl.-Ing. E. Schubert	Technische Universität Berlin (TUB) Institut für Luft- und Raumfahrt (ILR) Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr (FF)
Dipl.-Ing. A. Haslbeck	Technische Universität München (TUM) Lehrstuhl für Ergonomie (LfE)

Kontakt: ekkehart.schubert@tu-berlin.de

