

## **Vertrauen in die Automatisierung, fehlende Situation Awareness & Fertigkeitsverlust durch automatisierte Systeme – Eine subjektive Einschätzung aus der Linienpilotenperspektive**

Chiara Knecht, Céline Mühlethaler, Jasmin Zimmermann,  
Simon Binz, Ranjit Painadath & Toni Wäfler

### **Zusammenfassung**

Piloten von Verkehrsflugzeugen der heutigen Generation arbeiten in komplexen, hochautomatisierten Mensch-Maschine-Systemen (Faber, 2009). Dies führt dazu, dass Linienpiloten heute hauptsächlich als Systemüberwacher und Manager des hochautomatisierten Systems Flugzeug agieren (Hünecke, 2008). Neben den unbestreitbaren wirtschaftlichen Vorteilen ist die zunehmende Automatisierung im Cockpit jedoch auch mit gewissen Risiken behaftet (Faber, 2009). Manzey (2012) spricht in diesem Zusammenhang von drei grundlegenden Problemfeldern, die sich aus der Interaktion zwischen dem automatisierten System und dem Menschen ergeben: Zu geringes oder übersteigertes Vertrauen in die Automation, Verlust des Situationsbewusstseins (*Situation Awareness*) und der Verlust manueller Fertigkeiten (*deskilling*). Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erhebung der subjektiven Einschätzung von Linienpiloten bezüglich der drei postulierten Problembereiche. Dazu wurde eine Online-Befragung mit 223 Linienpiloten 11 verschiedener Fluggesellschaften durchgeführt. Die Resultate zeigen, dass sich die befragten Linienpiloten grundsätzlich in einem hochautomatisierten, im Vergleich zu einem traditionellen (weniger stark automatisierten) Flugzeug, sicherer fühlen, sie jedoch die Kontrolle und die Verantwortung über das Fliegen behalten möchten. Zudem wünschen sie auch keine weiteren automatisierten Systeme für Notsituationen. Schlussendlich können einige Facetten der drei von Manzey (2012) postulierten Problemfelder durch die Resultate der vorliegenden Studie bestätigt werden, wodurch wertvolle Hinweise für das künftige Design von Systemen bzw. spezifischen Trainings gewonnen werden können.

### **1 Einleitung**

In den heutigen Transportsystemen ist ein Technisierungsschub zu beobachten, welcher durch den zunehmenden Einsatz von Automation bzw. von komplexen Mensch-Maschine-Systemen geprägt ist. Die Luftfahrt nimmt in diesem Bereich eine zentrale Rolle ein (Faber, 2009).

Unter Automation wird in diesem Artikel die Übernahme von Tätigkeiten durch eine Maschine, welche zuvor von einem Menschen ausgeführt wurden, verstanden (Parasuraman & Riley, 1997; Wäfler et al., 1999). Automatisierung meint dabei den Prozess und die Automation das Resultat der Automatisierung (Hauß & Timpe, 2000). Automatisierung bedeutet nicht, dass der Mensch komplett durch die Technik ersetzt wird (Sheridan & Parasuraman, 2005). Diverse Funktionen des Piloten wurden jedoch nach und nach an automatisierte oder teilautonome Systeme übertragen, so dass Piloten heute als Systemüberwacher und Manager des hochautomatisierten Systems „Flugzeug“ agieren (Hünecke, 2008).

Neben ökonomischen Vorteilen liegt das Leitmotiv der Automatisierung in einer Erhöhung der Sicherheit sowie der Zuverlässigkeit von technischen Systemen (Manzey, 2012). Unfallstatistiken von hochautomatisierten Flugzeugen, im Vergleich zu weitgehend manuell gesteuerten Flugzeugen der früheren Generationen, bestätigen eine Abnahme von Flugunfällen (Boeing, 2013).

Neben den beschriebenen Vorteilen ist die zunehmende Automatisierung im Cockpit jedoch auch mit gewissen Risiken behaftet (Faber, 2009). Wie das Flugunglück der Air France 447 im Jahr 2009 aufzeigte, liegen solche Risiken insbesondere in einem unerwarteten Ausfall der automatisierten Systeme sowie einem eingeschränkten Bewusstsein der Piloten über die Prozesse, welche die Maschine ausführt. Manzey (2012) spricht in diesem Zusammenhang von drei grundlegenden Problemfeldern, die sich aus der Interaktion zwischen dem automatisierten System und dem Menschen ergeben: Ein zu geringes oder übersteigertes Vertrauen in die Automation, der Verlust des Situationsbewusstseins und der Verlust manueller Fertigkeiten.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erhebung der subjektiven Einschätzung von Linienpiloten bezüglich der drei postulierten Problembereiche der Automatisierung, um daraus Hinweise für künftige Designs von Systemen und spezifischen Trainings zu erhalten. Denn eine sicherheitsorientierte Gestaltung von neuen Systemen kann nicht aus rein technischen Verbesserungen bestehen. Der Fokus sollte vielmehr auf einer Optimierung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine liegen (Manzey, 2012; Wäfler et al., 1999).

## **2 Theoretischer Hintergrund**

Die stetige Zunahme von Informationssystemen seit den 1960er Jahren hat zu zahlreichen Untersuchungen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion (*human-computer interaction*) geführt. Während der Fokus zu Beginn der Forschung hauptsächlich auf dem Design, ergonomischen Aspekten und der Gebrauchstauglichkeit (*usability*) technischer Systeme lag, konzentriert sich die heutige Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion, nicht zuletzt durch die zunehmende Automatisierung und die damit verbundene Abnahme der Kontrolle des Menschen über technische Systeme, auf eine optimale Gestaltung der Mensch-Maschine-Kooperation (Hoc, 2000). Das Dilemma, welches aus der zunehmenden Kontrollübernahme durch technische Systeme, beziehungsweise

aus der zunehmenden Überwachungsfunktion des Menschen resultiert, wurde von Bainbridge (1983) in ihrem Artikel *Ironies of Automation* ausführlich diskutiert. Die Automation entlastet den Menschen zwar durch die Übernahme von manuellen und kognitiven Funktionen, gleichzeitig führt diese Entlastung durch die verminderte aktive Auseinandersetzung mit dem System zu einer Reduktion von Fertigkeiten. Die Ironie besteht darin, dass der Mensch im Falle eines Systemausfalls jederzeit in der Lage sein sollte, die Funktionen des automatisierten Systems zu übernehmen, durch die reine Überwachungsfunktion und den damit verbundenen Fertigkeitsverlust jedoch dazu teilweise nicht mehr in der Lage ist (Bainbridge, 1983). Manzey (2012) sieht im Fertigkeitsverlust aufgrund der zunehmenden Automatisierung eines der Hauptprobleme der Automation. Die zunehmende Automation führt letztendlich zu einer Veränderung der Aufgabebereiche sowie zu neu erforderlichen Fertigkeiten des Menschen. Zu den Hauptfunktionen des Menschen in einem automatisierten System gehören meist die Planung, die Überwachung, die Kommunikation mit der Schnittstelle, die Intervention bei unvorhergesehenen Aktionen des Systems, das Entscheiden und die Reflexion (Manzey, 2012; Parasuraman et al., 1996). Lange Überwachungsaufgaben, welche eine hohe Aufmerksamkeit über eine lange Zeit erfordern, gehören nicht zu den Stärken des Menschen. Sie können zu einer mentalen Ermüdung (*fatigue*) führen, welche die Leistung massiv beeinträchtigt (Colquhoun, 1976). Ist der Mensch ermüdet, so fällt es ihm schwerer, korrekte Entscheidungen zu treffen. Daraus resultieren schlussendlich neue Ansprüche an die Arbeitsgestaltung (z.B. Gestaltung des Schichtsystems, Pausenmanagement, Mensch-Maschine-Schnittstelle etc.) und auch an das Training (Flin et al., 2008). Eine weitere Möglichkeit, um dem manuellen Fertigkeitsverlust vorzubeugen, ist der Einsatz von adaptiven Systemen (die Funktionsallokation verläuft kontextabhängig) sowie gezielter Simulator-Trainings (Manzey, 2012).

Der Erhalt von manuellen Fertigkeiten scheint ein weniger großes Problem darzustellen als die Aufrechterhaltung von kognitiven Fertigkeiten (Bainbridge, 1983; Patrick, 1992). Beispielsweise kann die Übertragung von Entscheidungsfunktionen an das automatisierte System zu einem Rückgang der Situation Awareness führen (Sarter & Woods, 1991). Nach Endsley (1995) umfasst ein angemessenes Situationsbewusstsein die Wahrnehmung der relevanten Informationen aus der Umwelt, die Verarbeitung dieser Informationen zu einem mentalen Modell und daraus abgeleitet eine Einschätzung über mögliche Entwicklungen in der Zukunft. Um ein angemessenes Situationsbewusstsein zu erlangen, muss der Mensch aktiv in den Regelkreis der Systemsteuerung eingebunden sein. Dabei ist eine Transparenz der Systemfunktionen bzw. das Wissen über die genauen Prozesse erforderlich. Nur so kann ein korrektes mentales Modell der Funktionsweise der Automation bzw. der Situation aufgebaut und erhalten werden (Manzey, 2012).

Eine weitere Problematik aufgrund der Automation, welche in der Literatur viel diskutiert wird, ist das Vertrauen in automatisierte Systeme (Lee & See, 2004;

Manzey, 2012). Die Ausprägung des Vertrauens in automatisierte Systeme ist dynamisch und hängt insbesondere von der Zuverlässigkeit des Systems ab (Lee et al., 2004). Die Problematik äußert sich in zweierlei Hinsicht: Auf der einen Seite kann einem unzuverlässigen System zu stark vertraut werden (Parasuraman et al., 1996; Riley, 1996), was zu einer mangelnden Nutzung (*disuse*) der Automation führen kann (Manzey, 2012). Auf der anderen Seite kann einem zuverlässigen System zu wenig vertraut werden (Parasuraman et al., 1996) was eine fehlerhafte Nutzung (*misuse*) der Automation zur Folge haben kann (Manzey, 2012).

Sicherheitskritisch sind dabei die Folgen von zu großem Vertrauen, welche in der Literatur als *Complacency*-Fehler (Parasuraman & Manzey, 2010) bezeichnet werden. Diese können sich beispielsweise darin äußern, dass ein Operateur nicht auf ein abweichendes Systemverhalten reagiert, weil die Automation diese Abweichung nicht erkannt oder angezeigt hat. Weiter äußert sich ein zu starkes Vertrauen in Situationen, in welchen die Operateure nach falschen Vorgaben des automatisierten Systems agieren und dabei zuverlässigere Informationsquellen gar ignorieren (Mosier & Skitka, 1996). Ein mangelndes Vertrauen in die Automation zeigt sich beispielsweise bei Assistenzsystemen, wie Alarm- oder Warnhinweissysteme. Macht ein Operateur wiederholt die Erfahrung, dass Warnhinweise in kritischen Situationen ausbleiben, wird er im Notfall nicht auf das Assistenzsystem vertrauen. Ebenfalls wird einem Warnsystem häufig nicht vertraut, wenn dieses zu sensitiv reagiert. Dieser Aspekt wird entscheidend durch sogenannte falsche Alarme geprägt. Automationsfehler führen zu einer Unterschätzung der Zuverlässigkeit und damit zu einer mangelnden Nutzung des Systems (Manzey, 2012).

Die genannten Herausforderungen, welche die Automation mit sich bringen, machen deutlich, dass bei einer optimalen Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion nicht nur die technischen Möglichkeiten sowie ökonomische Ansprüche im Zentrum stehen sollten. Letztendlich spielen für die Sicherheit sog. Human Factors und damit die Ansprüche, Fertigkeiten und Fähigkeiten des Menschen eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Untersuchung der Fokus auf die subjektive Einschätzung, aus der Perspektive von Linienpiloten, bezüglich der drei postulierten Problembereiche (Vertrauen in Automation, Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins und Verlust manueller Fertigkeiten) von Manzey (2012), gelegt.

### **3 Methode**

Um die subjektive Sichtweise der Linienpiloten zu erfassen und daraus Hinweise für künftige Designs von Systemen oder spezifischen Trainings zu erhalten, wurde die folgende Untersuchung durchgeführt.

### 3.1 Untersuchungsdesign und Ablauf

Die Teilnehmer der vorliegenden Studie wurden je nach Möglichkeit persönlich angesprochen oder per E-Mail kontaktiert. Sämtliche Studienteilnehmer üben den Beruf eines Verkehrspiloten im geregelten Linienbetrieb aus. Berücksichtigt wurden alle Flugzeugtypen der Hersteller Airbus Industrie und Boeing Company sowie die Flugzeugtypen Avro RJ110 und Fokker 100. Businessjetpiloten, die mehrheitlich mit kleineren, jetbetriebenen Flugzeugen fliegen, wurden zur Vermeidung von Heterogenität aus der Stichprobe ausgeschlossen. Insgesamt wurden 11 Fluggesellschaften (SWISS International Air Lines, SWISS European Air Lines, Helvetic Airways AG, Edelweiss Air, Lufthansa AG, Air Berlin, Qatar Airways, Emirates, Thai Airways, ELAL, Sunexpress) angefragt. Die Verkehrspiloten bearbeiteten einen internetbasierten Fragebogen mittels des Online-Befragungs-Tools ELBA (elearning baukasten). Die Befragung wurde in anonymisierter Form auf Englisch durchgeführt. Der Link zur Befragung wurde dabei via E-Mail an die Piloten weitergeleitet. Die Befragung fand im Zeitraum von drei Wochen statt und die Bearbeitungsdauer für den Fragebogen betrug ca. 15 Minuten.

### 3.2 Stichprobe

Insgesamt haben  $N = 223$  Verkehrspiloten im Alter zwischen 23 und 61 Jahren ( $M = 38.70$ ,  $SD = 9.50$ ) den Fragebogen vollständig bearbeitet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über alle durch die Befragung erhobenen Stichprobenmerkmale wieder.

Tab. 1: Stichprobenbeschreibung

Merkmal	n	%
Geschlecht		
männlich	217	97.3%
weiblich	6	2.7%
Flight education program		
MPL (Multi Crew Pilot License)	22	9.9%
Air force pilot training program	26	11.7%
Ab-initio airline pogramm <sup>1</sup>	124	55.6%
Full self-sponsored course <sup>2</sup>	51	22.9%
Flight experience		
bis 2500 Stunden	54	24.2%
2501 - 5000 Stunden	43	19.3%
5001 - 10'000 Stunden	54	24.2%
10'000 - 20'000 Stunden	68	30.5%
mehr als 20'000 Stunden	4	1.8%

Tab. 1 (Fortsetzung)

Type of aircraft			
Airbus Industrie	174	78,0%	
Boeing Company	8	3,6%	
Fokker 100	22	9,9%	
Avro RJ 100	19	8,5%	
Job position			
First Officer	110	49,3%	
First Officer & Flight Simulator Instructor	23	10,3%	
Captain	71	31,8%	
Captain & Flight Simulator Instructor	19	8,5%	

Anmerkung:  $N = 223$

### 3.3 Instrument

Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Fragen zur Erhebung der von Manzey (2012) vorgeschlagenen Problemfelder in Bezug auf die Automation werden im Nachfolgenden vorgestellt.

#### 3.3.1 Vertrauen in Automation

Das Vertrauen in die Automation wurde anhand von drei Zustimmungs- und drei Einstufungsfragen erfasst. Bei der Zustimmung wurde eine siebenstufige Likertskala von 1 = „strongly disagree“ bis 7 = „strongly agree“ und bei der Einstufung eine siebenstufige Likertskala von 1 = „uncertain“ bis 7 = „always“ verwendet.

Zustimmungssitems:

1. *I feel much safer operating a highly automated aircraft than a traditional one with less automation.*
2. *Pilots need to stay in the control loop and to have the overall responsibility in controlling the aircraft.*
3. *Additional automation systems should be implemented when immediate action is needed in certain emergency situations (e.g.: A fire in the engine leads to an automated shut down procedure).*

Einstufungsitems:

1. *Please select how often a wrong sensor reading (e.g. wrong airspeed indication, wrong altimeter indication etc.) was experienced during a flight.*
2. *How often have you experienced an unexplainable event from the automation system during a flight (e.g. you have selected a specific altitude and the autopilot failed to level off).*
3. *Please state the frequency of a wrong activation of warning systems (e.g. Master Caution alert but no problems are identified) during a flight.*

### 3.3.2 Verlust manueller Fertigkeiten

Die nachfolgenden drei Items wurden zur Erhebung der Zustimmung in Bezug auf den Verlust manueller Fertigkeiten verwendet.

1. *Scanning and monitoring will be deteriorated by the excessive use of automation.*
2. *I am concerned of losing basic stick and rudder skills because these skills are practiced less often and may be called upon in the most demanding emergency situation.*
3. *Increased automation in the cockpit can limit the pilot's ability to discover, understand and repair an automation error.*

### 3.3.3 Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins

Das subjektive Empfinden der Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins der Linienpiloten wurde mittels der Zustimmung der zwei nachfolgenden Items (siebenstufige Likert-Skala von 1 = „*strongly disagree*“ bis 7 = „*strongly agree*“) erfasst.

1. *An increased distribution of pilot tasks to the automation system requires a higher situational awareness of the pilots.*
2. *Automated systems in the cockpit (e.g. Flight Management System, Autopilot, Auto thrust system) are highly sophisticated and interactions among them are complex hence there are still features which are not clearly understood in detail.*

### 3.3.4 Datenanalyse

Die Datenanalyse wurde mit IBM SPSS Statistics<sup>21</sup> durchgeführt. Zusammenhänge wurden mittels Rangkorrelationen nach Spearman berechnet. Zum Vergleich von zwei Gruppen wurden T-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Normalverteilung wurde über den Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Ab einer Stichprobengröße von  $N > 30$  wird davon ausgegangen, dass die Stichprobenmittelwerte von der Verteilung der Merkmalsausprägung in der Population unabhängig und daher annähernd normalverteilt sind (Hirsig, 2003). Bei den Gruppenvergleichen wurde das Signifikanzniveau nach Bonferroni (Holm, 1979) korrigiert. Für signifikante Ergebnisse wurde zusätzlich die Effektgröße Hedges'  $g$  (1981) für unterschiedliche Gruppengrößen berechnet. Ein  $g = 0.2$  steht für einen kleinen, ein  $g = 0.5$  für einen mittleren und ein  $g = 0.8$  für einen großen Effekt. Zur Exploration des Einflusses einer unabhängigen Variablen auf eine abhängige Variable wurden einfache lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Der Regressionskoeffizient wurde in Anlehnung an Cohen (1988) interpretiert. Ein  $R^2 = 0.13$  wird als kleiner Effekt interpretiert, ein  $R^2 = 0.20$  als mittlerer Effekt und ein  $R^2 = 0.35$  als großer Effekt.

## 4 Resultate

Die Resultate der vorliegenden Untersuchung werden entlang der drei zuvor beschriebenen Problemfelder der Automation (Manzey, 2012) vorgestellt (Vertrauen in die Automation, Fertigkeitsverlust durch hochautomatisierte Cockpits, Situationsbewusstsein und hochautomatisierte Cockpits).

### 4.1 Vertrauen in die Automation

Im nachfolgenden Säulendiagramm (vgl. Bild 1) sind die ZustimmungsvARIABLEN bezüglich des Vertrauens in die Automation dargestellt. In Bild 1 ist ersichtlich, dass sich 77.6% der Verkehrspiloten in hochautomatisierten, im Vergleich zu traditionellen (weniger stark automatisierten Flugzeugen), teilweise sicherer bis sehr viel sicherer fühlen. Dennoch stimmen 65.9% der Verkehrspiloten der Frage vollumfänglich zu, dass Piloten die Kontrolle und Verantwortlichkeit über das Flugzeug stets behalten sollten. Ebenso wünschen sich Piloten mehrheitlich (81.6%, „strongly disagree“ bis „partially disagree“) keine weiteren, automatisierten Systeme im Cockpit in Notfallsituationen.

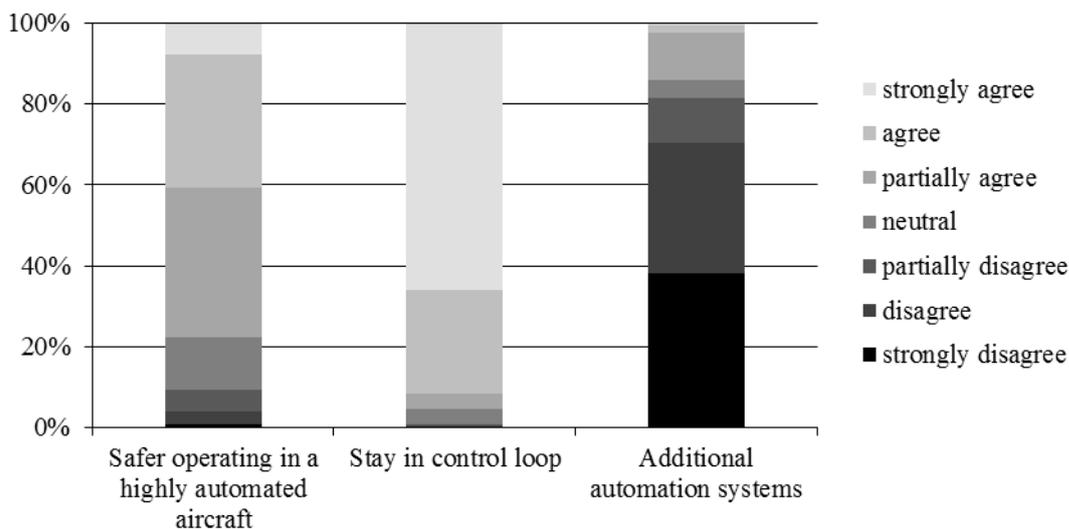


Bild 1: Prozentuale Verteilung der Antworten zu den Items des Vertrauens in die Automation.

Anmerkungen:  $N = 223$ ; *Safer operating in a highly automated aircraft*:  $M = 5.11$ ,  $SD = 1.18$ ; *Stay in control loop* (negativ gepoltes Item):  $M = 6.52$ ,  $SD = 0.83$ ; *Additional automation systems*:  $M = 2.26$ ,  $SD = 1.44$ .

In der Tab. 2 sind die Zusammenhänge zwischen den Einstufungs- und ZustimmungsvARIABLEN zum Vertrauen in die Automation dargestellt. Zwischen dem Erleben unerklärlicher Ereignisse und dem erhöhten Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Cockpits besteht ein signifikant negativer Zusammenhang ( $r = -.25$ ,  $p \leq .01$ ). Ebenfalls ein signifikant negativer Zusammenhang besteht zwischen der Häufigkeit erlebter, fälschlicherweise aktivierter Warnsysteme während eines Fluges und dem erhöhten Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Flugzeugen ( $r = -.21$ ,  $p \leq .01$ ).

Tab. 2: Korrelationen zwischen den Variablen des Vertrauens in die Automation

Item	1	2	3	4	5	6
1. <i>Feeling safer operating a highly automated aircraft</i> <sup>1</sup>	-					
2. <i>Stay in the control loop and have the overall responsibility in controlling the aircraft</i> <sup>1</sup>	-.03	-				
3. <i>Additional automation systems</i> <sup>1</sup>	.12	-.13**	-			
4. <i>Wrong sensor reading</i> <sup>2</sup>	-.12	.14*	-.04	-		
5. <i>Unexplainable event</i> <sup>2</sup>	-.25**	.02	.02	.26**	-	
6. <i>Wrong activation of warning system</i> <sup>2</sup>	-.21**	.03	.04	.23**	.24**	-

Anmerkungen:  $N = 223$ ;

<sup>1</sup> Zustimmungsskala von 1 = „strongly disagree“ bis 7 = „strongly agree“;

<sup>2</sup> Häufigkeitsskala von 1 = „never“ bis 7 = „always“;

\* $p < .05$  \*\* $p < .01$  \*\*\* $p < .001$  (zweiseitig).

Anhand von drei linearen Regressionsanalysen (Tab. 3) wurde untersucht, wie das Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Systemen durch das Vertrauen in die Automation, abgebildet durch drei Einstufungsitems („*wrong sensor reading*“, „*unexplainable event*“, „*wrong activation of warning systems*“), beeinflusst wird.

Tab. 3: Lineare Regressionsanalysen mit dem erhöhten Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Cockpits als Kriteriumsvariable

Prädiktoren	<i>Feeling safer operating a highly automated aircraft</i>			
	B	SE(B)	$\beta$	$R^2$
1. <i>Unexplainable event</i>	-.32	.10	-.22***	.04***
2. <i>Wrong activation of warning system</i>	-.19	.09	-.14*	.02*
3. <i>Wrong sensor reading</i>	-.16	.11	-.09	.00

Anmerkung:  $N = 223$ ; \* $p \leq .05$ , \*\* $p \leq .01$ , \*\*\* $p \leq .001$ .

Der Prädiktor „*unexplainable event*“ erklärt 4% und der Prädiktor „*wrong activation of warning systems*“ 2% der Varianz des erhöhten Sicherheitsgefühls in hochautomatisierten Cockpits. Der Prädiktor „*wrong sensor reading*“ trägt nicht zur Erklärung der Varianz des erhöhten Sicherheitsgefühls bei ( $\beta = -.09$ ,  $p = .17$ ,  $R^2 = .00$ ). Obwohl die Effektstärken der signifikanten Prädiktoren „*unexplainable event*“ und „*wrong activation of warning systems*“ nach Cohen (1988) sehr klein sind, ist der Anteil der erklärten Varianz durch den Prädiktor jeweils signifikant bis hoch signifikant.

#### 4.2 Fertigkeitsverlust durch hochautomatisierte Cockpits

Aus Bild 2 kann entnommen werden, dass die Mehrheit der befragten Verkehrspiloten (75.3%) der Aussage teilweise bis stark zustimmt, dass sich durch einen übermäßigen Gebrauch automatisierter Systeme die manuellen Steuer- und

Ruderfähigkeiten verschlechtern. Weiter stimmen 57.3% der Verkehrspiloten der Aussage teilweise bis stark zu, dass sich die Überwachungsfähigkeiten und das visuelle Scanning der Instrumententafel durch den übermäßigen Gebrauch automatisierter Systeme verschlechtern. Darüber hinaus sind 74.4% der befragten Verkehrspiloten teilweise bis sehr der Meinung, dass die stärkere Automation im Cockpit die Fähigkeit zum Erkennen, Verstehen und Beheben von Automationsfehlern einschränken kann.

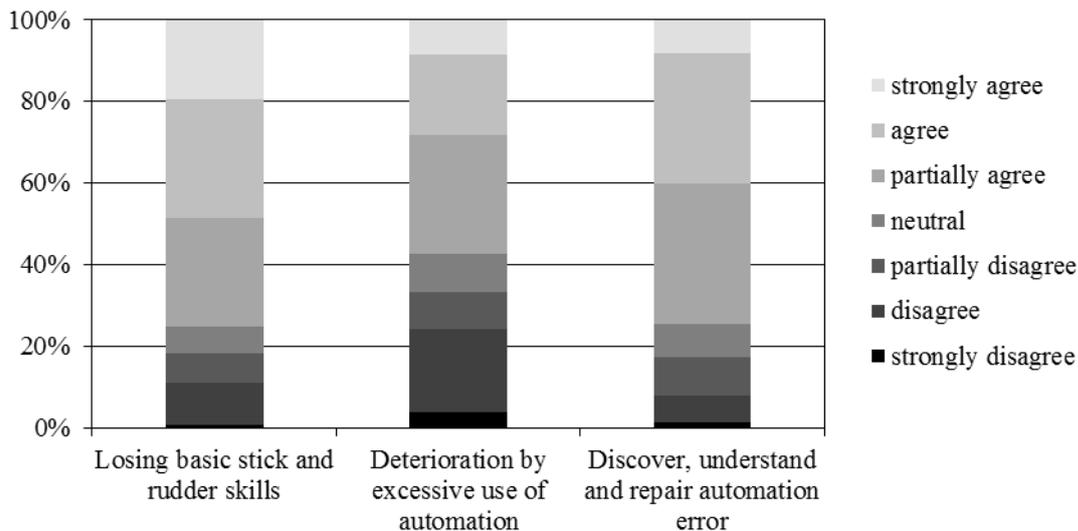


Bild 2: Prozentuale Verteilung der Antworten zu den Items des Fertigkeitsverlusts durch in die Automation.

Anmerkungen:  $N=223$ . *Losing basic stick and rudder skills*:  $M=5.13$ ,  $SD=1.58$ ; *Deterioration by excessive use of automation*:  $M=4.33$ ,  $SD=1.74$ ; *Discover, understand and repair automation error*:  $M=4.96$ ,  $SD=1.39$ .

Werden die befragten Piloten zusätzlich nach dem Merkmal *Flight Simulator Instructor* gruppiert, zeigt sich, dass, wenn die Gefahr zum Fertigkeitsverlust wahrgenommen wird, diese Wahrnehmung im Mittel stärker bei Instruktoren vorhanden ist (vgl. Bild 3).

Der Unterschied im Item „*Deterioration of scanning and monitoring*“ ist zudem signifikant ( $t(68.63) = -3.55$ ,  $p < .001$ ,  $d = 0.56$ ).

Der beschriebene Unterschied zwischen Instructor und Non-Instructor bezüglich des Items „*Deterioration of scanning and monitoring*“ entspricht einer mittleren Effektstärke (Cohen, 1988).

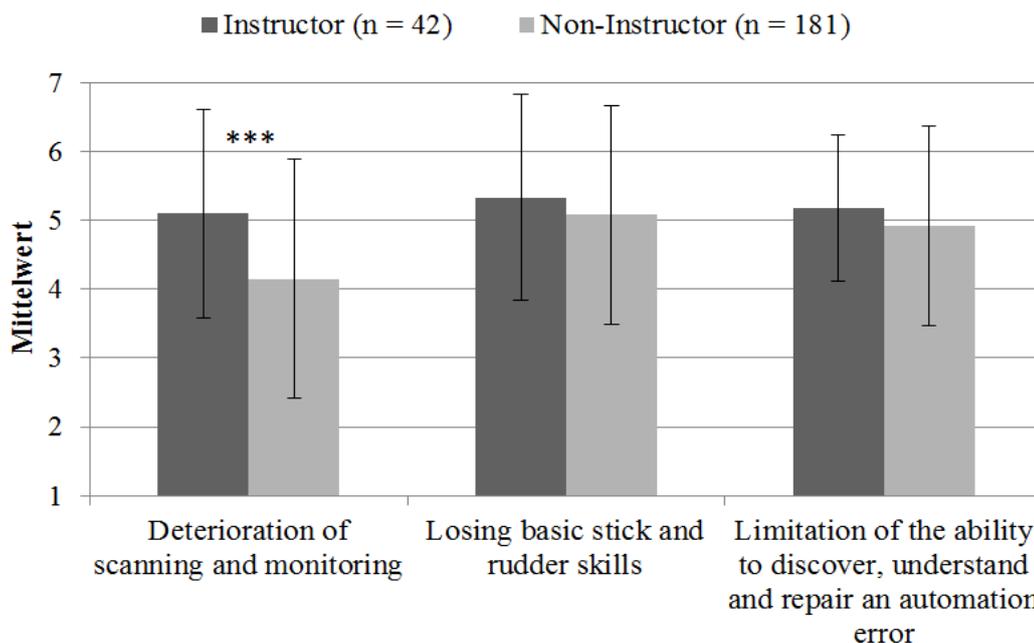


Bild 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der drei Items zum Fertigkeitsverlust durch Automatisierung für Instruktoren und Non-Instruktoren.

### 4.3 Situationsbewusstsein und hochautomatisierte Cockpits

In Bild 4 ist ersichtlich, dass mehr als Dreiviertel der befragten Verkehrspiloten (77.2%) teilweise bis sehr stark der Ansicht sind, dass die verstärkte Übertragung von Pilotenaufgaben an automatisierte Systeme im Cockpit ein erhöhtes Situationsbewusstsein erfordert.

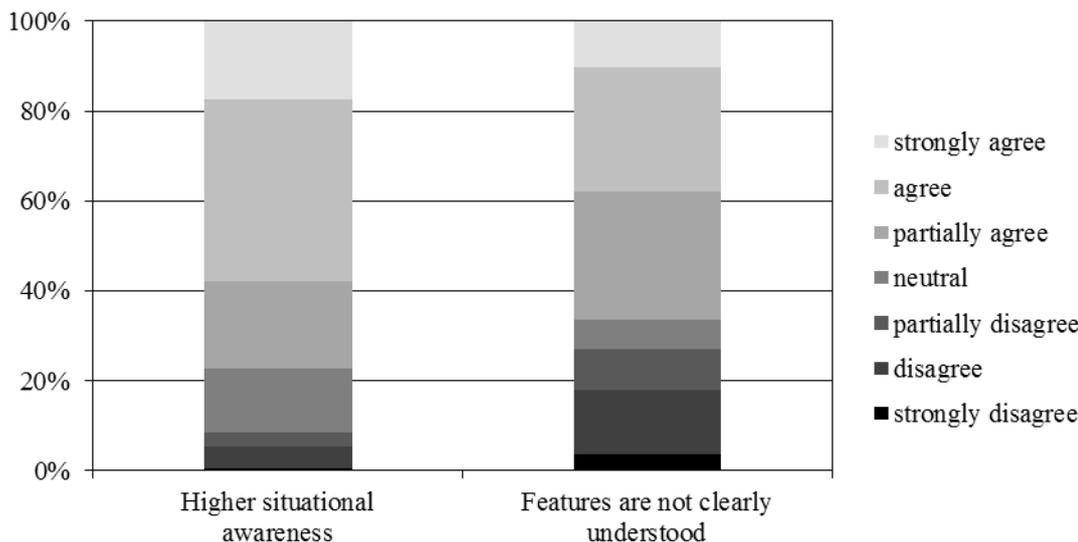


Bild 4: Prozentuale Verteilung der Antworten zu den Items des Situationsbewusstseins durch in die Automation.

Anmerkungen: N = 223. Higher situational awareness: M = 5.38, SD = 1.32; Features are not clearly understood: M = 4.66, SD = 1.69.

Zudem geben 66.4% („*partially agree*“ bis „*strongly agree*“) aller befragten Personen an, dass sie bestimmte Eigenschaften automatisierter Systeme im Cockpit aufgrund ihrer Komplexität nicht im Detail verstehen.

## 5 Diskussion & Ausblick

Eine sicherheitsorientierte Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen sollte sich nicht alleine auf technische Möglichkeiten und ökonomische Aspekte stützen. Der Fokus sollte vielmehr auf einer Optimierung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine liegen (Hoc, 2000; Manzey, 2012; Wäfler et al., 1999). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Untersuchung eine Erhebung der subjektiven Einschätzung von Linienpiloten bezüglich der drei von Manzey (2012) postulierten Problembereiche der Automation (ein zu geringes oder übersteigertes Vertrauen in Automation, Verlust des Situationsbewusstseins und der Verlust manueller Fertigkeiten) durchgeführt. Daraus sollen in einem weiteren Schritt Hinweise für künftige Designs von Systemen, aber auch Hinweise auf spezifische Trainingsinhalte zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion gewonnen werden.

Die gewonnenen Resultate zeigen auf, dass sich die befragten Piloten in einem hochautomatisierten Flugzeug, im Vergleich zu traditionellen, weniger stark automatisierten Flugzeugen, tendenziell sicherer fühlen. Dazu ist anzumerken, dass die befragten Linienpiloten mit hochautomatisierten Systemen ausgebildet wurden (Airbus, Boeing, Fokker 100 und Avro RJ 100) und im Schnitt eine sehr grosse Flugerfahrung aufweisen (vgl. Tabelle 1: 31% der Befragten haben 10`000 – 20`000 Flugstunden absolviert). Die genannten Flugzeugtypen wären ohne den hohen Automationsgrad für einen Menschen wohl nicht flugfähig. Dennoch wurde deutlich, dass auf eine weitere Automatisierung in Notfallsituationen, in welchen eine unmittelbare Reaktion erforderlich ist, verzichtet werden sollte. Das Beibehalten der Kontrolle sowie die Verantwortung über das Flugzeug scheint den Verkehrspiloten insgesamt sehr wichtig zu sein. Die zentrale Rolle des Menschen in einem automatisierten System, beispielsweise durch die Übernahme der Funktion bei einem Systemausfall, wurde in zahlreichen Studien betont (z.B. Bainbridge, 1983) und unterstützt die Forderung der Linienpiloten, stets im *control loop* bleiben zu wollen. Um die Verantwortung für die eigene Arbeit übernehmen zu können und auch die Sicherheit zu gewährleisten, stellt das Vertrauen in das automatisierte System eine wichtige Komponente dar (Lee & See, 2004; Manzey, 2012). Wie bereits erläutert ist insbesondere die Zuverlässigkeit des Systems im Hinblick auf das Vertrauen entscheidend (Lee et al., 2004). Beispielsweise können Automationsfehler zu einer Unterschätzung der Zuverlässigkeit und damit zu einer mangelnden Nutzung des Systems führen (Manzey, 2012). Die vorliegende Untersuchung stützt diesen Sachverhalt, indem die Beziehung zwischen fälschlicherweise aktivierten Warnsystemen aber auch die Beziehung zwischen unerklärlichen Ereignissen aufgrund des automatisierten Systems in einem signifikant negativen Zusammenhang mit dem Sicherheits-

gefühl in hochautomatisierten Flugzeugen stehen. Allerdings erklären diese Faktoren das erhöhte Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Cockpits nur zu einem kleinen Teil; ein Großteil der Varianz des erhöhten Sicherheitsgefühls bleibt unerklärt. Dies weist darauf hin, dass das erhöhte Sicherheitsgefühl in hochautomatisierten Systemen durch weitere, in dieser Studie nicht berücksichtigte, Variablen beeinflusst und erklärt werden kann.

Dietrich Manzey (2012) sieht im Fertigkeitsverlust aufgrund der zunehmenden Automatisierung eines der Hauptprobleme der Automation. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen auf, dass die Mehrheit der befragten Berufspiloten besorgt ist, ihre manuellen Flugfertigkeiten (*basic stick and rudder skills*) durch den übermäßigen Gebrauch von automatisierten Systemen zu verlieren. Ebenso scheint die zunehmende Automation entsprechend der subjektiven Einschätzungen der befragten Piloten das Erkennen, das Verständnis und die Behebung von Automationsfehlern zu erschweren. In Bezug auf die Scanning- und Überwachungsfähigkeiten sind die Berufspiloten unterschiedlicher Ansicht. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Einschätzung dieser Frage, zeigte sich zwischen Instruktoren und Nicht-Instruktoren. Dabei belegen die Resultate, dass insbesondere Instruktoren einen vermehrten Verlust von Scanning- und Überwachungsfähigkeiten wahrnehmen. Dies könnte daran liegen, dass sich Instruktoren in höherem Masse darüber bewusst sind, dass die Scanning- und Überwachungsfähigkeiten in einem automatisierten System zu den Hauptfunktionen des Menschen gehören und sie in einem Training dementsprechend stark auf diese Fertigkeiten achten. Der Einsatz von adaptiven Systemen wie auch gezielter Simulator-Trainings könnte von großer Wichtigkeit sein, um solchen Fertigkeitsverlusten entgegenzuwirken (Manzey, 2012).

Wie bereits weiter oben ausgeführt und durch den Verlust von Scanning- und Überwachungsfähigkeiten angedeutet, scheint die Aufrechterhaltung von kognitiven Fertigkeiten ein zentrales Problem darzustellen (Bainbridge, 1983; Patrick, 1992). Mehr als Dreiviertel aller befragten Piloten sind teilweise bis sehr stark der Ansicht, dass die verstärkte Übertragung von Pilotenaufgaben an automatisierte Systeme im Cockpit ein erhöhtes Situationsbewusstsein erfordert. Dies deutet auf eine Veränderung der Hauptfunktionen des Menschen beim Fliegen durch ein zunehmend automatisiertes System hin (Manzey, 2012; Parasuraman, Mouloua, & Molloy, 1996). Um ein adäquates Situationsbewusstsein beim Fliegen einer hochautomatisierten Maschine zu erlangen, ist eine Transparenz der Systemfunktionen bzw. das Wissen über die genauen Prozesse erforderlich (Wäfler et al., 1999). Nur so kann ein korrektes mentales Modell der Funktionsweise der Automation bzw. der Situation aufgebaut und erhalten werden (Manzey, 2012). Die Mehrheit aller befragten Personen gibt jedoch an, gewisse Funktionen der Automation aufgrund ihrer Komplexität nicht zu verstehen. Dies erschwert ein umfassendes Verständnis und die Antizipation der Situation im Cockpit und könnte bei einem Systemausfall gravierende Konsequenzen haben.

Die vorliegende Untersuchung hat die Sichtweise von Linienpiloten in Bezug auf das Vertrauen gegenüber automatisierten Systemen, eine fehlende Situation Awareness und den Verlust von manuellen Fertigkeiten durch die zunehmende Automatisierung aufgezeigt. Aus den Ergebnissen lassen sich abschließend auch Hinweise für das künftige Design von Systemen und spezifischen Trainings ableiten. Beispielsweise sollten die Systemfunktionen transparenter aufgezeigt werden, dem Basiswissen über zentrale Prozesse sollte in der fliegerischen Ausbildung mehr Gewicht beigemessen werden, manuelle fliegerische Fertigkeiten sollten durch Trainings oder adaptive Systeme erhalten bzw. aufgebaut werden und Notsituationen (Systemausfälle) sollten kontinuierlich trainiert werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Automatisierung mit beeinflusst, inwieweit der Mensch die automatisierten Prozesse überhaupt noch kontrollieren kann (Wäfler et al, 1999). Wenn beispielsweise Systemfunktionen durch die Automatisierung intransparent werden, dann kann dies nur teilweise mittels Trainings kompensiert werden. Es ist daher bereits bei der Technikgestaltung darauf zu achten, dass die Gestaltung der Mensch-Technik Funktionsteilung so vorzunehmen ist, dass die automatisierten Prozesse für den Menschen durchschaubar, vorhersehbar und beeinflussbar bleiben.

Um konkrete Implikationen umsetzen zu können, müssten in einem weiteren Schritt die durch die vorliegende Stichprobe weiter erfassten offenen Fragen bezüglich spezifischen Trainings kategorisiert und analysiert sowie weitere Untersuchungen im Hinblick auf das Design von künftigen Systemen durchgeführt werden.

## Literatur

- Boeing Commercial Airline Group (2013): *Statistical summary of commercial jet airplane accidents: worldwide operations 1959-2012*. [verfügbar unter: <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>; Zugriff am 08.08.2014].
- Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., & Aiken, L.S. (2003): *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cohen, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Colquhoun, P. (1976): Psychological and psychophysiological aspects of work and fatigue. *Act Nerv Super*, 18, 257-263.
- Endsley, M.R. (1995): Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Faber, G. (2009): *Die 4. Jetgeneration der Verkehrsflugzeuge – zunehmende Automatisierung. Technische Entwicklungstrends, didaktische Konsequenzen für die Ausbildung der Piloten und rechtliche Konsequenzen für den Betrieb dieser hochautomatisierten Verkehrsflugzeuge*. Darmstadt: FHP.
- Flin, R., O'Connor, P. & Crichton, M. (2008): *Safety at the sharp end. A guide to non-technical skills*. Aldershot: Ashgate.

- Hauß, Y & Timpe, K.-P. (2000): Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (S. 41–62). Düsseldorf: Symposium.
- Hedges, L.V. (1981): Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6(2), 107–128
- Hirsig, R. (2003): *Statistische Methoden in den Sozialwissenschaften. Eine Einführung im Hinblick auf computergestützte Datenanalysen mit SPSS*. Band I, 4. überarbeitete Auflage. Zürich: Seismo.
- Hoc, J.M. (2000): From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*, 43, 833-843.
- Holm, S. (1979): A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scand J Stat*, 6, 65-70.
- Hünecke, K. (2008): *Die Technik des modernen Verkehrsflugzeuges*. Stuttgart: Motorbuch.
- Lee, J.D. & See, K. (2004): Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors*, 46, 50-80.
- Manzey, D. (2012): Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 333-352). Berlin: Springer.
- Mosier, K.L. & Skitka, L.J. (1996): Human Decision Makers and Automated Decision Aids: Made for Each Other? In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (pp. 201-220). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Parasuraman, R. & Manzey, D.H. (2010): Complacency and Bias in Human Use of Automation: An Attentional Integration. *Human Factors*, 52, 381-410.
- Parasuraman, R., Mouloua, M. & Molloy, R. (1996): Effects of Adaptive Task Allocation on Monitoring of Automated Systems. *Human Factors*, 38, 665-679.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997): Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39(2), 230-253.
- Patrick, J. (1992): *Training. Research and practice*. London: Academic Press.
- Riley, V. (1996): Operator Reliance on Automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Application* (pp. 19-35). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1991): Situation Awareness: A Critical But Ill-Defined Phenomenon. *Aviation Psychology*, 1, 45-57.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2005): Human-Automation Interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 1, 89-129.
- Wäfler, T., Windischer, A., Ryser, C., Weik, S. & Grote, G. (1999): *Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen. Die Gestaltung automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS*. Zürich: vdf Hochschulverlag.

**Autoren**

C. Knecht, MSc	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Dr. C. Mühlethaler	School of Engineering
R. Painadath, BSc	Zentrum für Aviatik
	Winterthur, Schweiz
J. Zimmermann, MSc	Fachhochschule Nordwestschweiz
S. Binz, MSc	Hochschule für Angewandte Psychologie
Prof. Dr. T. Wäfler	Institut Mensch in komplexen Systemen
	Olten, Schweiz

Kontakt: [chiara.knecht@zhaw.ch](mailto:chiara.knecht@zhaw.ch)