

## **Adaption hochgradig geübter psychomotorischer Muster an ungewohnte Simulationsumgebungen am Beispiel von Piloten**

Patrick Gontar, Olivia Thoma & Andreas Haslbeck

### **Zusammenfassung**

Können professionelle Piloten ihre fliegerischen Fähigkeiten aus dem täglichen Flugbetrieb im Flugsimulator sofort anwenden und umsetzen? Basierend auf dieser Frage, wurde im Rahmen eines Flugsimulatorexperiments der Anpassungsvorgang an einen statischen Simulator beim manuellen Fliegen untersucht. Dabei flogen elf erste Offiziere einer Partnerairline jeweils zehn manuelle Landeanflüge bei unterschiedlichen Umwelteinflüssen. Zur Bewertung der Anpassung wurden die manuelle Flugleistung, das Steuerverhalten und die subjektive Beanspruchung gemessen. Die Ergebnisse der Kontrastanalysen zeigen einen deutlichen Anpassungsprozess hinsichtlich der ILS-Ablagen und Steuerbewegungen. Weiterhin ist eine Abnahme der subjektiven Beanspruchung im Laufe des Versuchs zu verzeichnen.

### **1 Einleitung**

Flugsimulatoren werden standardmäßig sowohl im Training zur Aus- und Weiterbildung als auch zur Leistungskontrolle in gesetzlich vorgeschriebenen Prüfungen von Piloten genutzt. Dabei ist zu beachten, dass sogenannte Full-Flight-Simulatoren, welche kommerziell genutzt werden, die dynamischen Eigenschaften des jeweiligen Flugzeugtyps durch die Abbildung der sechs Freiheitsgrade sehr realitätsnah widerspiegeln. Gegenteiliges gilt jedoch für viele Forschungssimulatoren, die aus Kosten- und Wartungsgründen statisch aufgebaut sind (Valverde, 1973). Fraglich ist somit, ob Piloten ihre Flugfähigkeiten in einem generischen und statischen Flugsimulator genauso ausüben können, wie dies im Full-Flight-Simulator oder im realen Flugzeug der Fall wäre. Ferner ist unklar, in wieweit zuerst eine Gewöhnungsphase für den jeweiligen Simulator stattfinden muss, bevor die Trainingsphase oder die experimentelle Manipulation vorgenommen wird. Falls ein Anpassungsprozess stattfindet, muss berücksichtigt werden, dass die Leistungsänderung durch die Manipulation ohne Eingewöhnungsphase mit der Anpassung an den Simulator konfundiert ist.

Daher wird im Rahmen dieser Flugsimulatorstudie, bei der unter anderem die Informationsverarbeitung beim manuellen Fliegen untersucht wird, der Aspekt des Leistungstransfers genauer beleuchtet. Es soll folglich überprüft werden,

inwiefern in einer Eingewöhnungsphase eine Anpassung an einen statischen Forschungssimulator stattfindet und wie diese zu quantifizieren ist.

## 2 Wissenschaftlicher Hintergrund

Beim Instrumentenflug wird dem Piloten ein vorgegebener Flugpfad und somit der Sollwert für seine Steueraufgabe anhand diverser Anzeigen aufgezeigt. Im Landeanflug folgt der Pilot dabei einer idealen Anflugbahn, welche durch das Instrumentenlandesystem (*Instrument landing system, ILS*) gekennzeichnet ist. Die Abweichung vom ILS – bestehend aus Gleitpfad (*Glideslope, GS*) für die vertikale Information und Landekurs (*Localizer, LOC*) für die laterale Information – werden auf dem *Primary Flight Display (PFD)* durch zwei Rauten symbolisiert. Fliegt der Pilot manuell, muss er auf abstrahierter Ebene die Rauten durch entsprechende Regelung über Sidestick und Schubregler in der Mitte der zugehörigen Skalen halten; der Pilot fungiert als Regler des Systems. Nach der Definition von Adams (1961) ist dies eine klassische zweidimensionale Trackingaufgabe oder auch Folgeaufgabe, bei der es zwei unabhängige Anzeigen gibt, die jeweils durch eine dazugehörige Stellgröße beeinflusst werden. Ziel ist es, wie bei eindimensionalen Trackingaufgaben, die Differenz zwischen einem gewünschten Sollwert und dem angezeigten Istwert (Nachführgröße) durch Regelung der Stellgröße am Bedienelement zu minimieren (Adams, 1961). Dabei sind die Anzeigen nicht unbedingt unabhängig voneinander durch die Stellgröße beeinflusst. Entstehen nun Ablagen durch beispielsweise Böen oder sich ändernde Windverhältnisse, muss der Pilot den Sidestick in Richtung der Rauten bewegen, um die Ablagen zu kompensieren; die ILS-Anzeigen sind somit als Kommandoanzeigen zu interpretieren.

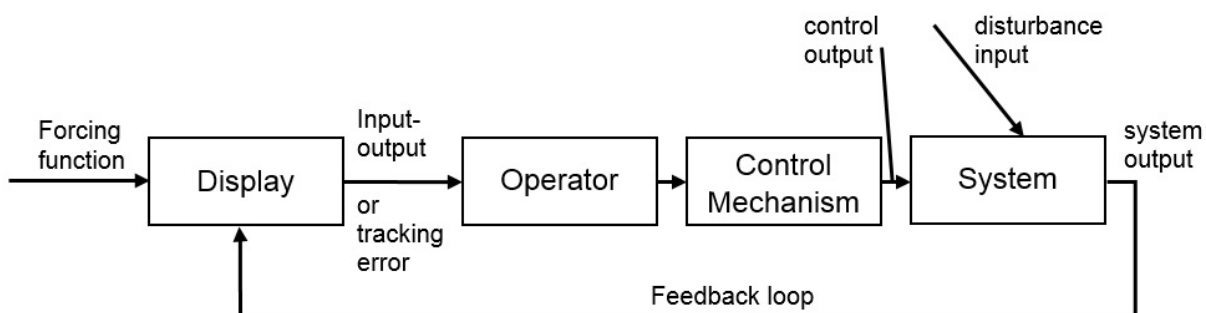


Bild 1: Schematische Darstellung einer typischen Trackingaufgabe. Nach (Lintern & Gopher 1978)

Bild 1 stellt schematisch die Eigenschaften einer Trackingaufgabe dar, wie sie in der Literatur vielseitig diskutiert wurden (z.B. Adams, 1961; Frost, 1972; Poulton, 1974). Der Operateur folgt der Repräsentation einer Störfunktion (*forcing function*) durch Manipulieren eines Kontrollmechanismus. Dieser erzeugt einen Ausgang, der das Systemverhalten beeinflusst. Die Differenz zwischen Systemausgang und der Störfunktion wird als Trackingfehler (*tracking error*) bezeichnet und dem Operateur über Feedbackschleifen in der Anzeige dargeboten. Dieser nimmt die Information über Sinnesorgane auf und bekommt damit eine Rück-

meldung über den Effekt seiner vorherigen Manipulation am Kontrollmechanismus (zusammengefasst nach Lintern & Gopher, 1978). Dieses System kann folgendermaßen auf das manuelle Fliegen im Flugsimulator übertragen werden: Der Simulator stellt das System dar, als Operateur ist der Pilot tätig. Der Sidestick fungiert als Kontrollmechanismus und das PFD zeigt den Trackingfehler (Ablagen vom ILS). Diesen Fehler gilt es zu minimieren. Je besser ein Operateur in der vorgegebenen Trackingaufgabe trainiert ist, desto geringer wird der Fehler. Als Erklärung für diesen Lerneffekt können unterschiedliche Ansätze gewählt werden (z.B. Adams, 1976; Schmidt, 1975). Adams (1976) postulierte eine Theorie zum Lernen motorischer Fertigkeiten, die bei der vorliegenden Trackingaufgabe entscheidend sind, da der Sidestick von Hand gesteuert wird.

Laut Adams (1976) gibt es zwei Gedächtniszustände oder auch Gedächtnisspuren die für das Erlernen motorischer Fertigkeiten entscheidend sind. *Memory trace* beschrieb er als eine Art „motorisches Programm“, durch welches die Bewegung ausgelöst wird. Dieses beinhaltet Richtung und Ausprägung der Bewegung. Ihre Dauerhaftigkeit wird von der Kenntnis des Resultats einer Bewegung und von Übung bestimmt. *Perceptual trace* ist für den Wiederabruf einer Bewegung zuständig und lenkt die Extremitäten an die richtige Position. Dieser wird über vergangene sensorische Rückmeldung gebildet und die Erfahrung, wie sich eine bestimmte Bewegung bei der Ausführung anfühlt. Während der Bewegung wird der sensorische Input der Sinnesrezeptoren mit der Wahrnehmungsspur verglichen, um zu überprüfen, ob bereits die korrekte Position erreicht ist (nach Adams, 1976). Übung stellt damit die entscheidende Variable dar, wenn präzise motorische Fähigkeiten verlangt werden.

Obwohl ein manueller Landeanflug im realen Flugzeug und im Simulator bezüglich der Trackingaufgabe identisch erscheint und die Piloten daher in der Aufgabe gut trainiert sind, konnten Wissenschaftler bereits Anpassungseffekte beobachten. Soparker & Reid (2003) untersuchten die Anpassung von drei Piloten an einen statischen Forschungssimulator bei einer Trackingaufgabe und beobachteten, dass die individuellen Unterschiede zwischen den Piloten in der Trainingsphase größer waren als in einer anschließenden Evaluationsphase. Sie begründeten ihre Ergebnisse mit der Vermischung der Anpassung an den Simulator und des Lerneffekts durch Übung der Trackingaufgabe. Genauer betrachtet ist anzunehmen, dass sich die gleiche Trackingaufgabe in Teilen unterscheidet, je nachdem, ob sie im Flugzeug oder im Flugsimulator ausgeführt wird. Daher ist die Trackingaufgabe im Forschungssimulator für einen Piloten nicht vollständig bekannt und muss bei praxiserfahrenen Piloten erst trainiert werden.

Adams (1961) unterteilte die Einflussfaktoren auf das Trackingverhalten in zwei Klassen: Aufgabenvariablen (*task variables*) und Prozessvariablen (*procedural variables*). Die Aufgabenvariablen beschreiben die physikalischen Eigenschaften der Trackingapparatur, in diesem Fall des Simulators. Sie umfassen die Charakteristik des Sidesticks, Gestaltung der Bedienelemente und Anzeigen sowie

Algorithmen, welche Stickausschläge in Veränderungen der Anzeigen übersetzen. Prozessvariablen beschrieb er hingegen nicht als aufgabenbezogene, sondern personenbezogene Maße wie Anzahl der Übungsdurchgänge und Dauer der Durchgänge. Die Aufgabenvariablen nach Adams (1961) könnten als Systemeigenschaften bezeichnet werden, die sich zwischen einem realen Flugzeug und einem Forschungssimulator unterscheiden. Beispielsweise könnten die Charakteristik des Sidesticks oder die flugdynamische Regelung im Simulator anders sein als im realen Flugzeug. Nach einigen Anflügen im Simulator ist also ein Anpassungseffekt zu erwarten, wenn sich die Piloten an das vorher unbekannte Systemverhalten gewöhnt haben.

Wie viele Anflüge bzw. wie viel Zeit im Simulator nötig ist, um ausreichende Anpassung zu erreichen, wird von der Unterschiedlichkeit des Simulators zum gewohnten Flugzeug bestimmt. Je genauer die Eigenschaften des Flugzeugs vom Simulator abgebildet werden, desto weniger unterscheiden sich die Trackingaufgaben. Gibbs (1951) beschäftigte sich mit dem Transfer einer Trackingaufgabe auf eine andere und konnte nachweisen, dass bekannte Aufgaben, die einer noch nicht geübten Aufgabe ähnelten, zu schnellerem Lernen der unbekannteren Aufgabe führten. Daher kann von einer kürzeren Gewöhnungsphase ausgegangen werden, falls die Systemeigenschaften des Flugsimulators denen des gewohnten Flugzeugs sehr ähnlich sind. Allerdings ist nach einem gewissen Grad an Anpassung ein Sättigungseffekt zu erwarten. Das heißt, die Anzahl der Anflüge die notwendig ist, um sich an einen Simulator zu gewöhnen, ist begrenzt. Wie hoch sie genau ist, muss im Einzelfall entschieden werden.

## 2.1 Fragestellungen und Hypothesen

Das Ziel dieser Studie war es, den Anpassungsvorgang, der beim manuellen Fliegen eines statischen Forschungssimulators aufgrund der unterschiedlichen Systemdynamik zum realen Flugzeug erwartet wird, genauer zu untersuchen. Während zehn manueller Anflüge auf den Frankfurter Flughafen im Forschungssimulator sollten Piloten dem ILS so gut wie möglich folgen. Dabei wurden nur die Anflüge 1-3 und der zehnte Anflug zur Untersuchung des Anpassungsprozesses verwendet.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie Anpassung an einen statischen Flugsimulator zu quantifizieren ist. Zum einen bedeutet Anpassung in diesem Kontext, dass der Operateur dem Zielwert (ILS) genauer folgen kann und der Trackingfehler geringer wird. Zum anderen kann nach Harper & Cooper (1986) die Höhe der Beanspruchung Aufschluss über den Grad der Anpassung an ein neues Fluggerät geben. Der Trackingfehler besteht im Flugsimulator, wie bereits erwähnt, aus den Ablagen vom ILS und wird vor allem durch das Steuerverhalten (*Roll* und *Pitch*) bestimmt. Einen adäquaten Wert zur Beschreibung dieser Ablagen stellt nach Poulton (1974) der *Root Mean Square Error* (RMSE) dar. Die Charakteristik des Steuer- oder Regelungsverhaltens eines Menschen beschrieb Craik (1947) als „*sampled servo-controller*“, also ein Regler, der durch

„ausprobieren“ regelt. Je besser der Pilot die Reaktion des Flugsimulators auf Steuerinputs am Sidestick kennt, desto weniger wird er „ausprobieren“, was insgesamt weniger Steuerinputs bedeuten könnte. Harper & Cooper (1986) beschrieben die Fähigkeit von Piloten, sich an unterschiedliche Flugzeugtypen anzupassen. Dabei steige die Beanspruchung in einem neuen Flugzeuggerät erst einmal stark an. Im Anpassungsprozess ist also davon auszugehen, dass die Beanspruchung mit zunehmender Übung sinkt. Als Beanspruchungsmaß nutzen viele Studien den NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), der die subjektive Beanspruchung erfasst. Zusammengefasst ist Anpassung also ein Prozess, der an den Ablagen vom ILS, der Intensität der Steuerinputs und der Beanspruchung gemessen werden kann. Im Folgenden werden die aus diesen Annahmen abgeleiteten Hypothesen vorgestellt:

- In Bezug auf die vorgestellte Literatur wird davon ausgegangen, dass sich die manuelle Flugleistung der Piloten über die ersten drei Anflüge signifikant verbessert. Das heißt, es wird eine Reduktion der Ablagen hinsichtlich GS und LOC erwartet. Ebenso wird ein Lerneffekt über die darauffolgenden sechs Anflüge vermutet, sodass sich die Ablagen im letzten Anflug im Vergleich zum dritten Anflug noch einmal signifikant verringern (H1).
- Bezüglich der Veränderung der Steuerinputs wird angenommen, dass mit jedem konsekutiven Anflug eine Reduktion der Steuerinputs in Pitch- und Rollrichtung zu beobachten ist (H2).
- Nach Harper & Cooper (1986) steigt die Beanspruchung beim Umstieg auf ein unbekanntes Fluggerät erst einmal an. Mit zunehmender Gewöhnung an das neue Systemverhalten, also mit jedem weiteren Anflug, sollte die subjektive Beanspruchung sinken. Weiterhin wird eine Korrelation zwischen den kumulierten Ablagen vom ILS und der subjektiven Beanspruchung erwartet (H3).

### 3 Methode

#### 3.1 Versuchsdesign/Operationalisierung

Tabelle 1 zeigt die Reihenfolge der manuell geflogenen Landeanflüge. Für die Adaption an den Simulator wurden die Anflüge E1-E3 (Block 1) und E10 (Block 4) zur Auswertung genutzt; die Anflugnummer wurde als unabhängige Variable (UV) verwendet [Anflug E1-E3, E10]. Diese Anflüge waren inhaltlich identisch, was einen direkten Vergleich der Anflüge einer Versuchsperson ermöglichte (*within subject design*). In den Anflügen S4-S9, die hier nicht betrachtet werden, wurden die Windverhältnisse (Block 2) sowie die Okklusionsbedingung (Block 3) als UV verwendet. Weiterhin wurden vier abhängige Variablen (AV) erhoben: die Flugleistung in Form von Ablagen vom ILS, die Steuerinputs um Quer- und Längsachse (Pitch und Roll) und die subjektive Beanspruchung. Die vierte AV, die Blickzuwendungen auf definierte Bereiche der Anzeigen, wird erst im Rahmen der Anflüge S4-S9 betrachtet und somit in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 1: Reihenfolge der Anflüge

	Anflug	Beschreibung	Reihenfolge
<b>Block 1</b>	E1 – Einfliegen	Leichte Störungen durch Seiten- und Rückenwinde	fest
	E2 – Einfliegen		
	E3 – Einfliegen		
<b>Block 2</b>	S4 – Baseline Wind	Anflug ohne jegliche Störeinflüsse	randomisiert
	S5 – Störung Querführung	Störung durch Seitenwinde	
	S6 – Störung Längsführung	Störung durch Rückenwinde	
<b>Block 3</b>	S7 – starke Störung durch Okklusion	Shutterbrille schließt für 2,0 s und öffnet für 1,5 s	randomisiert
	S8 – geringe Störung durch Okklusion	Shutterbrille schließt für 1,5 s und öffnet für 1,5 s	
	S9 – Baseline Okklusion	Shutterbrille geöffnet	
<b>Block 4</b>	E10 – Einfliegen	Leichte Störungen durch Seiten- und Rückenwinde	

### 3.2 Technische Ausstattung

Der Versuch fand im statischen Forschungssimulator des Lehrstuhls für Flugsystemdynamik an der Technischen Universität München statt. Layout und Design des Cockpits waren dem des Airbus A320 nachempfunden. Die Flugdynamik des Simulators entsprach jedoch der Dornier 728. Während des Versuchs befand sich der Flugsimulator in einem Flugmodus der als *Direct Law* bezeichnet wird. In diesem Flugmodus werden alle Steuerinputs unverändert an die entsprechenden Ruder weitergegeben; zudem war die automatisierte Trimmung nicht verfügbar. Außerdem waren sämtliche Schutzeinrichtungen, welche instabile Flugzustände vermeiden, deaktiviert. Somit war sichergestellt, dass vor allem die manuellen Flugfertigkeiten bestimmten, wie gut die Flugaufgabe erfüllt werden konnte. Während des gesamten Versuchs wurde das Blickverhalten der Piloten mit dem DIKABLIS Blickfassungssystem erfasst. In den entsprechenden Anflügen mit Störung der Informationsaufnahme trugen die Piloten zusätzlich noch eine Shutterbrille, welche in definierten Zeitabständen opak wurde und somit die visuelle Informationsaufnahme unmöglich machte.

### 3.3 Messmethodik

Die Flugdaten des Simulators dienen als Basis der objektiven Leistungsbewertung und wurden kontinuierlich aufgezeichnet (z.B. Ablagen LOC und GS sowie die Steuerinputs in Quer- und Längsrichtung). Zur Bewertung der manuellen Flugleistung wurden die Ablagen vom ILS in der üblichen Einheit [dot] betrachtet. Eine Abweichung von  $0,8^\circ$  bezüglich des LOC bzw. von  $0,4^\circ$  bezüglich des GS definierten dabei 1 dot. Der RMSE ist, wie bereits erwähnt, das am häufigsten verwendete Maß, um die Flugleistung zu quantifizieren (Poulton, 1974), und wurde daher auch hier als Maß für die Flugleistung verwendet. Bei der Berechnung des Werts werden Standardabweichung und Mittelwert gleichermaßen gewichtet (Hubbard, 1987). Die Ablagen konnten daher sowohl einzeln als auch kumuliert (LOC+GS) betrachtet werden. Die Inputs am Sidestick waren bei maximalem Ausschlag auf beiden Achsen auf den Wert 1 normiert. Auch hier wurde als Maß für die Steuerinputs der RMSE betrachtet. Im Rahmen der subjektiven Selbsteinschätzung zur Beanspruchung wurde nach jedem Anflug der NASA rTLX – eine vereinfachte Version des NASA TLX ohne Gewichtung der Bereiche (Byers et al., 1989) – von den Teilnehmern ausgefüllt. Somit ergab sich für jede Versuchsperson ein Gesamtwert der subjektiven Beanspruchung für jeden einzelnen Anflug.

### 3.4 Stichprobe

Am Experiment nahmen freiwillig elf Erste Offiziere (FOs) teil, die zum Testzeitpunkt alle eine gültige Lizenz für Verkehrspiloten (ATPL) besaßen. Alle Piloten verfügten über ein Type-Rating der Airbus A320-Familie und waren hauptberuflich für eine Partnerairline tätig. FOs auf der Kurzstrecke haben hoch trainierte manuelle Flugfertigkeiten (Haslbeck et al., 2012), so dass in dieser Stichprobe generell mit einer guten fliegerischen Leistung zu rechnen war. Eine der Versuchspersonen wurde aufgrund fehlerhafter Datenaufzeichnung ausgeschlossen. Zudem fehlten bei einem Piloten die Daten des NASA rTLX. Unter den verbleibenden zehn Teilnehmern waren zwei weiblich und acht männlich mit einem Altersdurchschnitt von  $M_{Alter} = 29,4$  Jahren (Altersbereich: 26-35 Jahre). Somit hatten die teilnehmenden Piloten sehr ähnliche Voraussetzungen; alle flogen Kurzstrecke und waren im Mittel seit 5,25 Jahren auf diesem Flugzeugtyp tätig. Die mittlere vergangene Zeit seit der Ausbildung betrug 6 Jahre. Es konnte somit eine homogene Gruppe, mit sehr ähnlichem Trainings- und Ausbildungsstand realisiert werden.

### 3.5 Ablauf und Szenario

Die Piloten wurden zu Beginn des Experiments in einer kurzen Einführung über den Gesamtkontext der Studie, den Ablauf des Experiments und ihre Aufgabe aufgeklärt. Weiterhin wurde auf Eigenheiten und Unterschiede des Flugsimulators zum A320 hingewiesen. Die Aufgabe bestand darin, im *Direct Law* zehn manuelle ILS-Anflüge auf den Flughafen Frankfurt durchzuführen und dabei möglichst geringe Ablagen vom ILS zu produzieren. Die Piloten waren instruiert,

unter allen Umständen zu landen. Als FOs flogen die Teilnehmer auf ihrer gewohnten Position rechts im Cockpit, und ein Versuchsleiter bediente während der Anflüge die *Flight Control Unit*, die Landeklappen sowie das Fahrwerk. Bereits vor dem ersten Anflug wurde den Piloten das Blickerfassungssystem aufgesetzt. Das Szenario startete bei 4.400 ft AGL (*above ground level*) mit minimalen Turbulenzen. Die folgenden 1.500 ft dienten der reinen Gewöhnung an das Steuer- und Reaktionsverhalten des Simulators. Es folgte je eine Passage mit leichtem Rückenwind und mit Seitenwind. Ab einer Höhe von 500 ft AGL fanden keine Störungen mehr statt, so dass eine Landung immer möglich war. Die zehn Anflüge nahmen ca. 90 Minuten in Anspruch, wobei ein Anflug zwischen 5 und 6 Minuten dauerten.

### 3.6 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden mehrere Kontrastanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Diese spezielle Variante der Varianzanalyse wird verwendet, wenn – wie in diesem Fall – die Hypothesen bereits zu Beginn gerichtet formuliert werden können. Weiterhin wurde die gesamte Auswertung mit einem geforderten Signifikanzniveau von 5% durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 ILS-Ablagen

Die Kontrastanalysen für Ablagen vom ILS zeigten über die gesamte Gruppe eine Veränderung der Ablagen hinsichtlich LOC und GS (Bild 2).

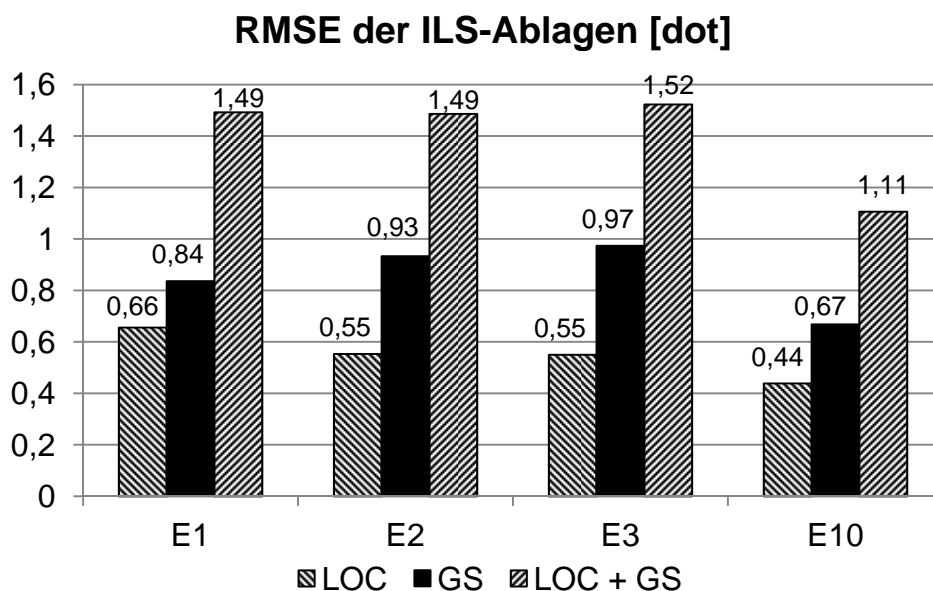


Bild 2: Ablagen beim manuellen Anflug

Dabei zeigte sich ein statistischer Trend hinsichtlich der LOC-Ablagen zu niedrigeren Werten. Ein gegenläufiger Trend war bei den Ablagen in vertikaler Richtung festzustellen. Somit sinkt das Verhältnis bei den Ablagen zwischen LOC und GS kontinuierlich von 0,78 (E1) auf 0,56 (E3). Die Einzelbetrachtung



von LOC und GS mittels Kontrastanalyse zeigte lediglich eine signifikante Leistungsverbesserung beim GS zwischen E3 und E10 ( $F(1,9)=9,229$ ,  $p=0,014$ ). Wurden die kumulierten Werte aus LOC und GS betrachtet, zeigte sich, dass in den ersten drei Anflügen keine Verbesserung zu verzeichnen war. Vielmehr ergab sich bei den kumulierten Werten eine signifikante Verbesserung von E3 nach E10 ( $F(1,9)=8,743$ ,  $p=0,016$ ). Insgesamt zeigte sich eine sehr hohe Variabilität in der Leistung zwischen den einzelnen Probanden.

Hypothese H1 konnte somit nur teilweise bestätigt werden. Eine signifikante Verbesserung innerhalb der ersten drei Anflüge ist wider Erwarten nicht nachweisbar; diese zeigte sich erst – nach sechs weiteren Anflügen – im Vergleich zum letzten Anflug E10.

## 4.2 Stickinputs

Die Kontrastanalysen zu den Steuerinputs am Sidestick zeigten signifikante Unterschiede in den Mittelwerten über die gesamte Gruppe. Diese sind in Bild 3 dargestellt.

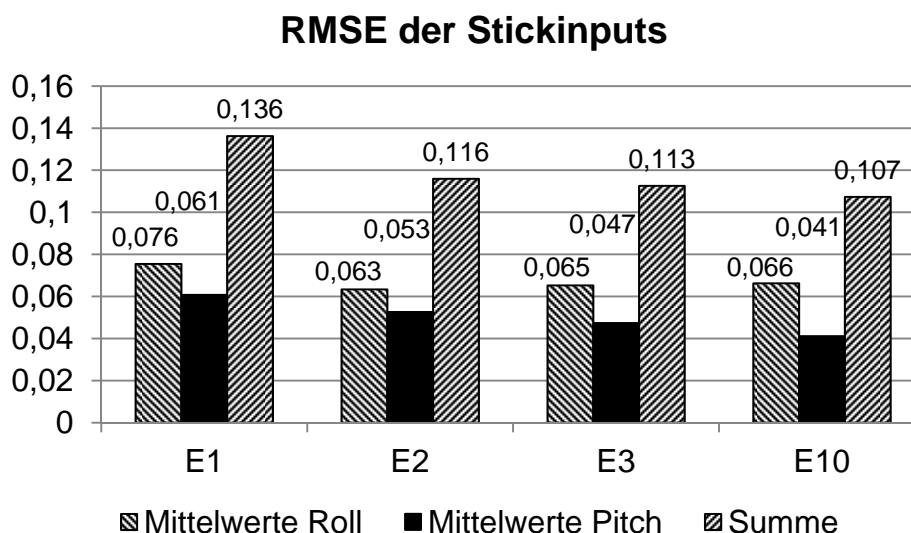


Bild 3: Stickinputs beim manuellen Anflug

Die Roll-Eingaben zeigten bereits bei der ersten Wiederholung E2 im Vergleich zu E1 signifikant geringere Werte ( $F(1,9)=12,264$ ,  $p=0,007$ ). Eine weitere, statistisch signifikante Verbesserung im Verlauf des Versuchs war nicht festzustellen. Bei der Betrachtung der Pitch-Eingaben, die zu einem Nicken des Flugzeuges führen, zeigte sich im Gegensatz zu den Ablagen bezüglich des GS ein abnehmender Trend. Ein statistisch signifikanter Unterschied war jedoch nicht zu verzeichnen. Auch bei den Stickeingaben wurden analog zu den ILS-Ablagen beide Dimensionen durch Addition miteinander verknüpft. Die Unterschiede zwischen E1 und E2 wurden dabei signifikant ( $F(1,9)=8,042$ ,  $p=0,020$ ). Wie auch bei den Einzelbetrachtungen war eine Verbesserung zwischen E3 und E10 – gegenteilig zu den ILS-Ablagen – nicht mehr zu erkennen ( $F(1,9)=0,4$ ,  $p=0,543$ ). Es zeigte sich eine tendenzielle, aber nicht signifikante Reduktion der Stick-

Eingaben in den ersten drei Anflügen. Die zugehörige Hypothese konnte somit nur im ersten Teil statistisch bestätigt werden (E1-E2). Es bleibt jedoch zu beachten, dass hier der RMSE als Abweichungsmaß vom Nullpunkt verwendet wurde und damit keine Aussagen über die Häufigkeit oder die Amplitude der Stickbewegungen möglich sind.

### 4.3 Subjektive Beanspruchung

Die subjektive Beanspruchung (Bild 4) zeigte deutliche Unterschiede im Verlauf des Versuchs.

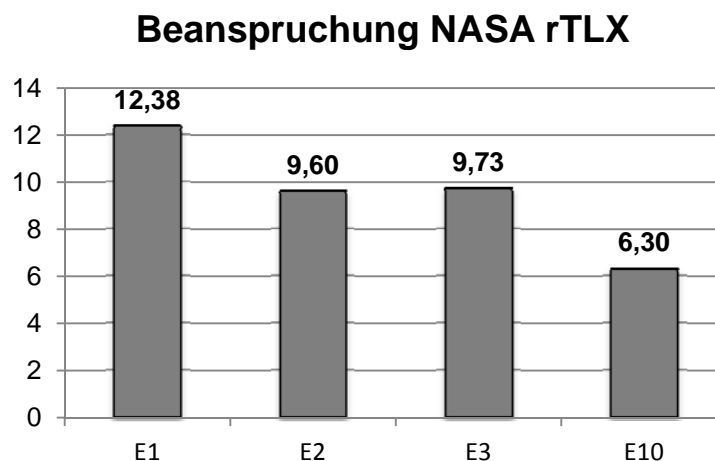


Bild 4: Subjektive Beanspruchung während der Anflüge

Auch hier zeigte sich eine signifikante Abnahme von E1 zu E2 ( $F(1,9)=14,863$ ,  $p=0,004$ ). Vergleichbar zu den Stickeingaben zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen E2 und E3. Erst der Unterschied von E3 zu E10 wurde statistisch signifikant, mit  $F(1,9)=7,155$ ,  $p=0,025$ . Anders als bei den bisher präsentierten Ergebnissen war sowohl eine signifikante Abnahme innerhalb des ersten Teils des Experiments (E1-E2) als auch zum letzten Anflug hin zu erkennen.

Bei der Korrelation der Ablagen einzelner Versuchspersonen mit der subjektiven Beanspruchung ergab sich die in Bild 5 gezeigte Verteilung. Die ILS-Ablagen waren dabei wie bereits bekannt hinsichtlich LOC und GS einzeln aufgeschlüsselt, zusätzlich jedoch auch wieder addiert worden.

Dabei zeigte sich, dass die ILS-Ablagen bei einem Großteil der Probanden positiv mit der subjektiv wahrgenommenen Beanspruchung korrelierten. Wurden die Ablagen über die Anflüge weniger, verringerte sich die Beanspruchung und umgekehrt. Bei zwei Versuchspersonen zeigte sich dieses Verhalten jedoch nicht. Auffällig war, dass vor allem der LOC sehr hoch mit der Beanspruchung korrelierte.

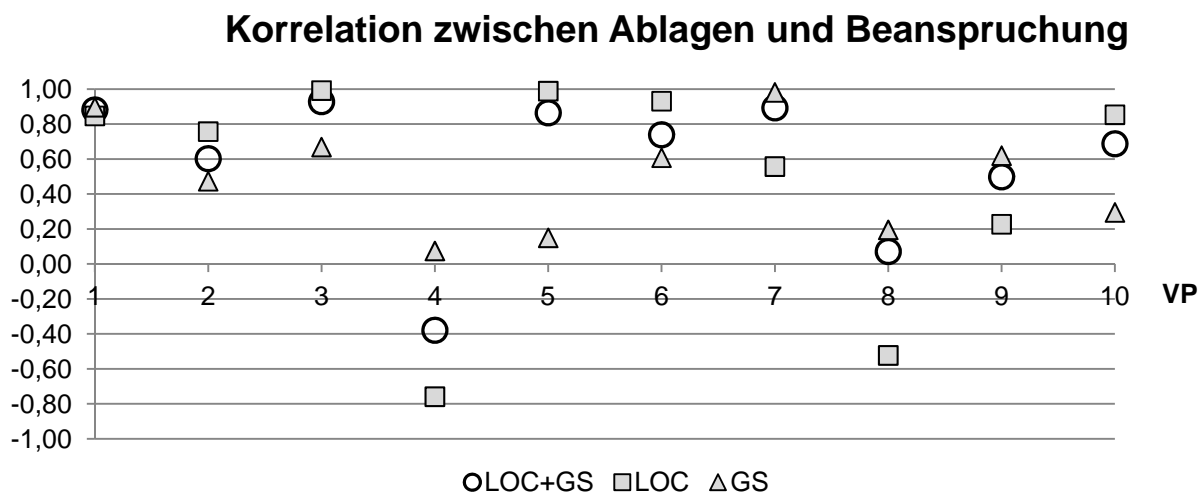


Bild 5: Korrelation der ILS-Ablagen mit der Beanspruchung

## 5 Diskussion

Der erste Teil der Auswertung hinsichtlich ILS-Ablagen und Stickeingaben zeigte, dass ein kontinuierlicher Anpassungsprozess statistisch nicht nachzuweisen war. Die ILS-Ablagen zeigten erst deutliche Verbesserungen, nachdem sechs schwierigere Anflüge im mittleren Teil des Experiments durchgeführt wurden (S4-S9). Dies könnte darauf hindeuten, dass die ersten drei Anflüge für diese Versuchsbedingungen noch nicht ausreichten, um entsprechende Anpassungsprozesse sichtbar zu machen. Auffällig sind die gegenläufigen Trends der Ablagen hinsichtlich LOC und GS. Während die LOC-Ablagen innerhalb der ersten drei Anflüge abnahmen, stiegen dort die Ablagen hinsichtlich des GS. Gespräche mit Piloten haben gezeigt, dass diese hinsichtlich des LOC teilweise höhere Ansprüche an das eigene Flugverhalten stellen. Als Gründe hierfür wurde unter anderem die laterale Hindernisfreiheit (maximal gesetzlich zulässige Ablage von 1 dot) genannt, welche stets im Auge behalten werden muss. Die genannte Hindernisfreiheit ist auch beim GS von Bedeutung; jedoch ist eine Ablage, bei der sich das Flugzeug über dem GS befindet – aus Gründen der Hindernisfreiheit – weniger relevant. Man könnte davon ausgehen, dass Piloten oberhalb von 1.000 ft GS-Ablagen, welche einen zu hohen Anflug widerspiegeln, wissentlich zulassen und nicht korrigieren (Navas & Stark, 1968) um möglicherweise mentale Ressourcen zu sparen. Werden die kumulierten Werte betrachtet, zeigte sich nahezu keine Veränderung. Dies könnte auf eine Art Ressourcenbegrenzung hinsichtlich psychomotorischer Bewegungsmuster hindeuten. Die Stickeingaben sind im Gegenteil dazu bereits anfangs signifikant abgesunken. Dies könnte wiederum auf einen schnellen Anpassungsprozess hindeuten, der nach wenigen Wiederholungen annähernd abgeschlossen ist. Beim Vergleich von Pitch-Eingaben mit GS-Ablagen bzw. Roll-Eingaben mit LOC-Ablagen ist besondere Vorsicht geboten. Es lässt zwar vermuten, dass für einen präziseren Anflug auch genauere Eingaben nötig sind; der RMSE, welcher hier betrachtet wurde, liefert

aber keine differenzierte Aussage über das Steuerverhalten. Hierzu müsste wie in Mialls Studie (1993) das Frequenzverhalten der Steuereingaben betrachtet werden.

Die Ergebnisse des NASA rTLX zeigten, wie sich die subjektive Beanspruchung im Laufe des Versuchs ändert. Bei der Betrachtung von Bild 5 zeigte sich bei den meisten Versuchspersonen eine hohe Korrelation zwischen Beanspruchung und LOC-Ablagen. Auch dies stimmt mit der Schlussfolgerung und den Aussagen der Piloten überein: Der LOC ist schwieriger zu fliegen, bedarf mehr Aufmerksamkeitsressourcen und ist die dominierende Einflussgröße für die wahrgenommene Beanspruchung. Inwiefern die Ablagen zum Teil bewusst vernachlässigt werden, lässt sich mit Hilfe der Blickerfassungsmessung beantworten, deren Ergebnisse jedoch gesondert berichtet werden.

Die Fragestellung dieser Studie, ob ein Anpassungsprozess an den Forschungssimulator stattfindet, kann nach diesen Überlegungen bejaht werden. Jedoch ist nicht bei allen erfassten Variablen gleichermaßen eine Anpassung zu beobachten. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Anpassungsprozess schrittweise abläuft und zuerst eine Gewöhnung an die Charakteristik des Sidesticks stattfindet und erst anschließend die Ablagen besser kontrolliert werden können. Die Beanspruchung sinkt dabei konstant vom ersten Kontakt mit dem unbekanntem Systemverhalten des Flugsimulators.

### Danksagung

Die Autoren danken dem Lehrstuhl für Flugsystemdynamik der Technischen Universität München, insbesondere Andreas Jaroš, Ludwig Drees und Christoph Krause, sowie Carsten Schmidt-Moll und Anja Schneider für die hervorragende Zusammenarbeit und Hilfe bei der Durchführung des Experiments.

### Literatur

- Adams, J.A. (1961). Human tracking behavior. *Psychological Bulletin*, 58 (1), 55-79.
- Adams, J.A. (1976). Issues for a Closed-Loop Theory of Motor Learning. In G.E. Stelmach (Ed.), *Motor Control. Issues and Trends* (pp. 87–107). New York: Academic Press.
- Byers, J.C., Bittner, A.C. & Hill, S.G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: are paired comparisons necessary? In A. Mital (Ed.), *Advances in industrial ergonomics and safety*. (Proceedings of the Annual International Industrial Ergonomics and Safety Conference held in Cincinnati, Ohio, USA, June 5-9, 1989, Vol. 2, pp. 481–485). New York: Taylor & Francis.
- Craik, K.J.W. (1947). Theory of the human operator in control systems. I. The operator as an engineering system. *British Journal of Psychology*, 38 (2), 56-61.
- Frost, G. (1972). Man-machine dynamics. In H.P. Van Cott & R.G. Kinkade (Eds.), *Human engineering guide to equipment design* (revised, pp. 227–310). Dept. of Defense; for sale by the Supt. of Docs., U.S. Govt. Print. Off.
- Gibbs, C.B. (1951). Transfer of training and skill assumptions in tracking tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 3 (3), 99-110.

- Harper, R.P. & Cooper, G.E. (1986). Handling qualities and pilot evaluation. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 9 (5), 515-529.
- Hart, S. & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*. Amsterdam: North-Holland.
- Haslbeck, A., Schubert, E., Gontar, P. & Bengler, K. (2012). The relationship between pilots' manual flying skills and their visual behavior: a flight simulator study using eye tracking. In S. Laundry, G. Salvendy & W. Karwowski (Eds.), *Advances in Human Aspects of Aviation* (Advances in Human Factors and Ergonomics, pp. 561–568). Boca Raton: CRC Press.
- Hubbard, D.C. (1987). Inadequacy of root mean square error as a performance measure. In R.S. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Aviation Psychology, April 27-30, 1987, Columbus, OH*. Columbus, OH: Ohio State University, Dept. of Aviation.
- Lintern, G. & Gopher, D. (1978). Adaptive training of perceptual-motor skills: issues, results, and future directions. *International Journal of Man-Machine Studies*, 10 (5), 521-551.
- Miall, R.C., Weir, D.J. & Stein, J.F. (1993). Intermittency in Human Manual Tracking Tasks. *Journal of Motor Behavior*, 25 (1), 53-63.
- Navas, F. & Stark, L. (1968). Sampling or Intermittency in Hand Control System Dynamics. *Biophysical Journal*, 8 (2), 252-302.
- Poulton, E.C. (1974). *Tracking skill and manual control*. New York: Academic Press.
- Hoffmann, S. & Buld, S. (2006). Driving in a simulator. Design and evaluation of a training programme. *VDI-Berichte, 2006 (1960)*, 113-132.
- Schmidt, R.A. (1975). A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82 (4), 225-260.
- Soparkar, S. & Reid, L. (2003). The Effects of Simulator Motion on Handling Qualities. In American Institute of Aeronautics and Astronautics (Ed.), *Proceedings of the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, August 11-14, 2003, Austin, TX, AIAA 2003-5677*.
- Valverde, H.H. (1973). A Review of Flight Simulator Transfer of Training Studies. *Human Factors*, 15 (6), 510-523.

## **Autoren**

P. Gontar

O. Thoma

Dipl.-Ing. A. Haslbeck

Technische Universität München

Lehrstuhl für Ergonomie

Kontakt: gontar@lfe.mw.tum.de

