

# **Zur Forschung der Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit- Design**

**Bachelorarbeit**

Mai 2007

Betreut von: lic. phil. Javier Bargas-Avila

**David Weber**  
d.weber@stud.unibas.ch

Universität Basel  
Institut für Psychologie  
Missionsstrasse 62  
4055 Basel

---

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung .....	4
2. Die Entwicklung der Cockpits .....	6
2.1. Cockpit-Entwicklung: Vom „Uhrenladen“ zum „Glas-Cockpit“ .....	6
2.2. Automatisierung der Cockpits .....	8
2.3. Wer ist der Boss: Mensch oder Maschine? Die Rolle des Piloten.....	9
3. Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit.....	10
3.1. Das Mensch-Maschine-System im Cockpit .....	10
3.2. Flugsicherheit.....	10
3.3. Unfallforschung.....	11
3.4. Konsequenzen aus der Unfallforschung: Menschliches Versagen und Auslastungsfehler .....	11
3.5. Komplexität im Cockpit und die Anforderungen an den Menschen .....	12
3.6. Systemzuverlässigkeit und menschliche Zuverlässigkeit .....	14
3.6.1. Technische Zuverlässigkeit und die Entschärfung des Risikofaktors Maschine.....	14
3.6.2. Menschliche Zuverlässigkeit und die Entschärfung des Risikofaktors Mensch.....	15
3.6.3. Unerkannte Moduswechsel und die Theorie der gelernten Sorglosigkeit.....	16
3.7. Die Cockpit-Automatisierung und die Wichtigkeit der MMI-Forschung.....	17
4. Forschung im Cockpitdesign .....	18
4.1. Die Aufdeckung von Betriebsfehlern und Diskrepanzen im Cockpitdesign.....	18
4.2. GOMS-Analyse eines Cockpits.....	20
4.3. Zwei ausgewählte Studien .....	23
4.3.1. Data-Link vs. Sprechfunk .....	24
4.3.2. CASSY – CockpitASsistenz-System .....	26
4.4. Die Frage der Integration der MMI ins Cockpitdesign: Meinungen von Fachleuten.....	28
5. Diskussion und Ausblick .....	33
5.1. Airbus A380 – neuste Flugzeuggeneration: Mit Maus und Cursor durchs Luftmeer .....	33
5.2. Die Zukunft der Luftfahrt und die Weiterentwicklung der MMI im Cockpitdesign.....	35
Danksagung .....	37
Literatur .....	38
Glossar .....	42

---

## Zusammenfassung

Wie die zunehmende Cockpit-Automatisierung und die rasante Erhöhung der Luftverkehrsdichte zeigen, werden Anforderungen an Piloten immer höher. Diese Tatsache wirft nicht zuletzt Fragen bezüglich Flugsicherheit auf.

Flugunfallforschung zeigt deutlich, dass Unfälle immer mehr auf menschliches Versagen zurückgeführt werden müssen und die Technik immer seltener Grund für Unfälle ist. Daraus wird deutlich, dass der Mensch das schwächste Glied bezüglich Zuverlässigkeit darstellt. Die Interaktion Mensch-Maschine wird daher immer wichtiger und spielt eine immer zentralere Rolle. Es ist diese Schnittstelle, die optimiert werden muss, damit die Systemzuverlässigkeit gewährleistet werden kann.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Forschungsstand der Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit-Design. Indem versucht wird, Betriebsfehler und Diskrepanzen im Cockpitdesign aufzudecken, werden Ansätze gezeigt, wie die Zuverlässigkeit von Piloten erhöht werden könnte.

Obwohl die Literatur zum Thema Cockpit vielseitig ist, sind sich Autoren einig: um die Flugsicherheit zukünftig weiter zu erhöhen, müssen Probleme der Mensch-Maschine-Interaktion verbessert werden und der Mensch im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen.

Anmerkung:

Begriffe, die mit \* gekennzeichnet sind, werden am Ende der Arbeit im Glossar erläutert.

## 1 Einleitung

„Der Pilot ist gerade dann unverzichtbar, wenn er selbst Hilfe benötigt.“ Dieses Zitat von Lüdtko und Möbus (2001) bringt die Wichtigkeit der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) im Cockpit auf den Punkt: In Flugphasen mit geringer Arbeitsbelastung, wie beispielsweise einem Flug übers Meer, wird der Pilot von den Systemen im Cockpit entlastet. In kritischen Situationen jedoch, in denen die Arbeitsbelastung ohnehin hoch ist, erhöht die Automatik zusätzlich das Belastungsniveau des Flugzeugführers. Dadurch kann es zu Zusammenbrüchen der MMI kommen, weil der Pilot nicht mehr nachvollziehen kann, was das System tut.

In kaum einem anderen Bereich der Technik spielt das Mensch-Maschine-System (MMS) eine solch bedeutende Rolle wie in der Luftfahrt. Dies liegt hauptsächlich an den fatalen Folgen, die Störungen in diesem Bereich haben können (Reifenberg, 2003).

Weil die Anforderungen an die Flugzeugführer in der Vergangenheit immer größer wurden und Flugunfallforschung deutlich zeigt, dass menschliches Versagen in drei von vier Fällen Grund für Unfälle ist, muss der Mensch als schwächstes Glied bezüglich Zuverlässigkeit betrachtet werden (Bartsch, 2005). Dies unterstreicht die Bedeutung der MMI im Cockpit-Design. Um eine höhere Sicherheit zu erreichen, muss die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine optimiert werden.

Im Folgenden wird die Entwicklung der Cockpits von Verkehrsflugzeugen kurz dargestellt und die Begriffe „Automatisierung“ und „Automatisierungsgrad“ definiert (Kapitel 2). Anschließend werden die sich verändernde Rolle des Piloten und die zunehmende Veränderung der Aufgaben im Cockpit thematisiert.

Kapitel 3 beschreibt zunächst das Mensch-Maschine-System (MMS) im Cockpit. Gezeigt wird, wie sicher das Fliegen ist und woraus die meisten Unfälle der Vergangenheit resultierten. Aus der Unfallforschung ergeben sich Kategorien für menschliche Fehler bei Flugunfällen. Erhöhte Automation hat erhöhte Komplexität zur Folge. Aus diesem Grund werden Anforderungen an den Menschen und Aufgaben der Piloten vorgestellt. Anschließend wird die Verlässlichkeit auf das System und auf den Menschen bezogen und dargestellt, wie die Risikofaktoren Mensch und Maschine entschärft werden. Für die Entschärfung des Risikofaktors Mensch spielen die Begriffe „Mode Awareness“ und „Situation Awareness“ eine wichtige Rolle, weil sie für eine dauernde Systemüberwachung durch den Piloten während des gesamten Fluges grundlegend sind. Abgerundet wird das Kapitel durch die Darstellung der Wichtigkeit der MMI-Forschung im Cockpitdesign, indem die Ursachen für die häufigsten Probleme der MMI aufgezeigt werden.

---

Kapitel 4 beschreibt die Art und Weise, wie Betriebsfehler und Diskrepanzen im Cockpit-Design aufgedeckt und Systeme verbessert werden. Zum einen werden problematische Modusübergänge dargestellt und gezeigt, wie nach dem „Prinzip der gelernten Sorglosigkeit“ unbemerkt Fehler begangen werden. Zum anderen wird anhand einer GOMS-Analyse gezeigt, wie ein Cockpitdesign verbessert werden könnte. Die GOMS-Analyse ist eine Technik aus der MMI mit dem Ziel, Benutzerschnittstellen zu verbessern. Anschließend werden zwei Studien beschrieben, welche die Notwendigkeit der Interaktionsoptimierung zwischen Pilot und Maschine darstellen. Schließlich zeigt die Auswertung einer Umfrage unter 60 Fachleuten, darunter hauptsächlich Verkehrspiloten, wie Betroffene über Systemschwierigkeiten, über mögliche und nötige Erneuerungen in zukünftigen Cockpits und über die Integration der MMI in gegenwärtigen Cockpits denken. Ebenso werden in der Umfrage genannte Wünsche, Hoffnungen und Befürchtungen beschrieben.

In Kapitel 5 werden zuerst Hintergründe zur Arbeit und Erkenntnisse diskutiert. Der folgende Blick ins neue Cockpit des Airbus A-380 soll den gegenwärtigen Stand der Technik kurz darstellen. Eine Diskussion betreffend Zukunft der Luftfahrt und die Weiterentwicklung der MMI im Cockpitdesign runden die Arbeit ab.

## 2. Die Entwicklung der Cockpits

Im Folgenden wird ein kurzer Abriss über die Cockpit-Entwicklung von Verkehrsflugzeugen gegeben. Obwohl die Systeme viel technisches Verständnis erfordern, ist es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, Systeme genau zu beschreiben. Deshalb werden nur jene Systeme kurz erläutert, die zum Verständnis der MMI im Cockpit wichtig sind (siehe Anhang). Moderne Flugzeuge gehören zu der 6. Cockpitgeneration. Hier werden nur die ersten drei Generationen behandelt; für weitere Ausführungen wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

### 2.1. Cockpit-Entwicklung: Vom „Uhrenladen“ zum „Glas-Cockpit“

In der Vergangenheit haben Flugzeuge und Cockpits eine rasante Entwicklung durchlaufen. Weil klassische Cockpits pro Sensor ein Anzeigeinstrument hatten, waren sie mit analogen Anzeigen überfüllt, weshalb sie oft als „Uhrenladen“ bezeichnet wurden. Die Piloten mussten die Rohdaten selbst als normal oder kritisch interpretieren; Warnsysteme zeigten mit einer unspezifischen Warnung (z.B. rotes Licht) nur kritische Situationen an (Reifenberg, 2003). An die Stelle mechanischer Zeigerinstrumente sind mit der ersten Cockpit-Generation großformatige Bildschirme gerückt, die dem Piloten Informationen grafisch zur Verfügung stellen (Klingauf & Vernaleken, 2005). Als „Glass-Cockpits“ werden jene Cockpits bezeichnet, in denen das Electronic Flight Instrument System (EFIS)\* eingebaut ist (Reifenberg, 2003).

Bei den *Cockpits der ersten Generation*, die 1960 eingeführt wurden, gab es zwei Innovationen: Röhrenbildschirme und das Flight Management System (FMS)\*, welche den Piloten ermöglichten, ihren Flugplan einzuprogrammieren und als grafische Kartendarstellung ab-



Abbildung 1. Cockpit Boeing 707 (www.luftfahrt.ch, 2007)

zulesen. Das Hinweis- und Warnsystem wurde auf einem zentralen Bildschirm angezeigt und hatte eine fünfstufige Hierarchie, um verschiedene Stufen der Dringlichkeit anzuzeigen (Heldt, 1994; Douglas, Arbuckle, Abbott, Abbott & Schutte, 1998). Dem Flugingenieur kam unter anderem die Aufgabe der Überwachung von Flugsystemen und Treibstoff zu; zudem musste er auftretende Fehler beheben können. Heute ist der Flugingenieur durch Systeme ersetzt, die auf einem zentralen Monitor den aktuellen Systemzustand anzeigen. Zu den Cockpits der ersten Generation gehört beispielsweise jenes der Boeing B-707 (Reifenberg, 2003).

Die *zweite Cockpit-Generation* wurde 1965 eingeführt (Bartsch, 2005). Nun wurden Bildschirme oder LCD-Anzeigen verwendet, die im Cockpit bald dominierten. Schaltbildartige Darstellungen sind nun Standard, Hinweis- und Warnsysteme zeigen Meldungen grafisch an. Der Autopilot des Flugzeugs ist soweit ausgereift, dass er das Flugzeug automatisch auf Kurs und Höhe halten, automatisch einen Flugplan abfliegen und landen kann. Die wichtigste



Abbildung 2. Cockpit Boeing 727 (www.imcat.com, 2007)

Erneuerung ist die Einführung der „Fly-by-Wire-Steuerung“, welche die Steuersignale vom Cockpit nicht mehr mechanisch, sondern elektronisch zu den Steuerelementen überträgt. Ein Beispiel für Cockpits der zweiten Generation ist unter anderen jenes der Boeing B727 (Reifenberg, 2003). Nach 1983 wurde die Informationsaufarbeitung immer mehr per Computer durchgeführt. Frühere Anzeigen wurden modifiziert oder durch kleine Bildschirme ersetzt (Bartsch, 2005).

Die ersten *Cockpits der dritten Generation* wurden 1986 gebaut: Von nun an wurde für fast alle Systeme Bildschirmtechnik verwendet. Ein Beispiel ist das Cockpit der Boeing 747 (Bartsch, 2005).



Abbildung 3. Cockpit Boeing 747 (membres.lycos.fr, 2007)

Heute ist die Fülle der Eingabemöglichkeiten groß. Sie reicht vom Drehknopf bis zum Touchpad. Das erste Touchpad wurde in einer Boeing B777 eingebaut (Reifenberg, 2003).

## 2.2. Automatisierung der Cockpits

Die „*Automatisierung*“ wird definiert als der Einsatz von technischen Mitteln in der MMI zur maschinellen Durchführung von Aufgaben, die der Pilot sonst alleine abuarbeiten hätte. Unter „*Automatisierungsgrad*“ wird das Maß für das Potential eines technischen Systems verstanden, diese Aufgaben abuarbeiten, respektive das Maß des Umfangs direkter Einwirkung technischer Systeme auf den im MMS zu führenden Prozess (Onken, 1998).

Die Automatisierung ist heute laut Reifenberg (2003) so weit fortgeschritten, dass ein Flugzeug in der Lage ist, automatisch einen Kurs abzufliegen und zu landen. Der Start und ein Teil des Steigfluges werden jedoch immer noch manuell ausgeführt.

Wegen vielen äußeren Einflüssen, wie beispielsweise Anweisungen der Flugsicherung während des Fluges, ist es bis heute extrem schwierig, einen einmal programmierten Flug vollständig automatisch durchzuführen; Deshalb werden auch heute noch ca. 95% der Landungen manuell geflogen. Auch wenn die Landung vom Autopiloten durchgeführt wird, kontrollieren die Piloten ständig die Elektronik - unter Berücksichtigung der Verkehrsverhältnisse und der Wetterbedingungen. Ebenso ist die Bedienung der Landeklappen und des Fahrwerks immer noch Sache der Piloten (Vereinigung Cockpit, 2007).



### 2.3. Wer ist der Boss: Mensch oder Maschine? Die Rolle des Piloten

Die Rolle des Piloten hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert (Klingauf & Vernaleken, 2005). Durch die dritte Cockpit-Generation sind neue Aufgaben für die Piloten hinzugekommen: Programmieren, Überwachen, Fehlerprävention, Fehleranalyse und gegebenenfalls Beseitigung und manuelle Übernahme des Flugzeugs, falls dies erforderlich wird (Bartsch, 2005). Während früher die Aufgaben hauptsächlich in der Steuerung des Flugzeugs bestanden haben, sind heutige Aufgaben vermehrt die Flugplanung, Abstimmung des Fluges mit der Flugsicherung, Abstimmung standardisierter Abläufe und die Überwachung der Systemfunktionen. Die Rolle des Piloten wird daher immer mehr zu einem *Flightmanager* (Klingauf & Vernaleken, 2005). Diese Rollenveränderung ist laut Bartsch (2005) nicht zuletzt auf die erhöhte Automatisierung zurückzuführen. Über die letzten Jahrzehnte schrumpfte das Cockpit-Team von fünf auf zwei Mitglieder. Motorische Regeltätigkeiten des Piloten sind rückläufig, Überwachungsarbeit und Systemmanagement dominieren im Normalbetrieb, was hohe kognitive Anforderungen an den Piloten stellt.

Wie die Aufgaben, haben sich auch die Anforderungen an Piloten verändert. Unfälle der jüngsten Vergangenheit zeigen, dass der Einblick der Piloten in hohe Systemebenen allein nicht ausreicht, sondern dass vor allem auch Kenntnisse über Systemzusammenhänge gewährleistet werden müssen (Bartsch, 2005). In Zukunft wird es immer wichtiger werden, dass der Pilot ein Gesamtbild der Situation hat und Fehlinterpretationen minimiert werden (Klingauf & Vernaleken, 2005).

Obwohl die Maschine in den vergangenen Jahren immer mehr automatisiert worden ist, dem Menschen Aufgaben abgenommen hat und das Mensch-Maschine-System immer komplexer wurde, blieb die letzte Entscheidungsinstanz stets der Pilot. Die erwähnte Rollenveränderung von der hauptsächlichlichen Steuerung zum Flightmanager zeigt deutlich, dass in der Systementwicklung versucht wird, den Menschen über das System zu stellen. Weil es jedoch für den Piloten immer schwieriger wird, das System jederzeit vollständig nachvollziehen zu können, stellt sich die Frage, wie viel Automatisierung und Kontrolle dem System abgegeben werden darf.

### **3. Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit**

Seit dem ersten Versuch, mit Maschinen von der Erde abzuheben, setzten sich Menschen in Luftfahrzeuge und riskierten zunächst auf abenteuerliche Weise ihr Leben. Somit war bereits der erste Flug eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Obwohl die Luftfahrt heute für viele Menschen kein Abenteuer mehr ist und zum Alltag gehört, stellt sich die Frage der Wichtigkeit der MMI im Cockpit.

#### **3.1. Das Mensch-Maschine-System im Cockpit**

Das *Mensch-Maschine-System* (MMS) besteht aus der Flugzeugbesatzung und dem Flugzeug mit all seiner Technik. Flugzeugführer ist der Mensch, mit all seinen Sinnen, der Wahrnehmung, Informationsverarbeitung und seinen Handlungen. Er muss auf die Informationen des Flugzeugs reagieren sowie die Umwelt wahrnehmen. Die Aktionen der Piloten werden über Steuerung, Rechner und Systeme oder direkt über den Autopiloten eingegeben. Dem Menschen gegenüber steht die Maschine mit der technischen Ausstattung: Systemen, die über Instrumente, Vibrationen und Warnsignale Informationen an den Piloten weiterleiten (Reifenberg, 2003). Die Hardware des Flugzeugs ist funktionell mit den Leit-Anlagesystemen am Boden verknüpft (Bartsch, 2005).

Eine wichtige Rolle spielt laut Bartsch (2005) auch das Bord- und Bodenpersonal, wobei der Flugsicherung eine tragende Rolle zukommt. Mensch und Maschine werden von vielen Umgebungsfaktoren beeinflusst: Wetterbedingungen, bestimmte Flugsituationen, Flugverkehrsdichte, nationale und internationale Vorschriften, und anderes. Damit das MMS sicher zusammenspielen kann, ist der Mensch strengen Auswahlverfahren und Schulungen, die Technik strengen Standards und Tests unterworfen (Reifenberg, 2003).

#### **3.2. Flugsicherheit**

Statistisch gesehen ist das Flugzeug das sicherste Verkehrsmittel: Im Jahre 2000 ereignete sich alle 2 Millionen Flugstunden ein tödlicher Unfall. Somit müsste ein Passagier eine Strecke von 4 Milliarden Kilometern fliegen, bevor er bei einem Flugzeugabsturz getötet wird. Das entspricht 100'000 Flügen rund um die Welt (Vereinigung Cockpit, 2007). Im Jahr 2004 ereignete sich bei westlichen Fluggesellschaften „nur noch“ ein fataler Unfall pro 10 Millionen Flugbewegungen. 1959 waren es noch 44 (Boeing Commercial Airplane Group, 2005). Laut Vereinigung Cockpit (2007) „ist und bleibt das Gefährlichste der Weg zum Flughafen“.

### 3.3. Unfallforschung

Jedes technische System und jedes Mensch-Maschine-System ist fehlerbehaftet. Insbesondere wegen der hohen Geschwindigkeiten und des Übergangs vom Luft- zum Bodenfahrzeug sind Flugzeuge potentiell unfallgefährdete technische Systeme (Faber, 1994).

Untersuchungen von Flugunfällen machen deutlich, dass sich die Flugunfallursachen vom Technischen zum Menschlichen verschoben haben: heute muss davon ausgegangen werden, dass rund 75% aller Flugunfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen sind. Ein Anstieg der Unfallzahlen ist immer nach der Einführung einer neuen Flugzeuggeneration, also nach markanten technischen Veränderungen zu verzeichnen (Bartsch, 2005).

Das Unfallrisiko ist für verschiedene Flugphasen unterschiedlich hoch: 25% für Landeanflug, 24% für die Landung, 24% beim Abheben, 12% im Reiseflug, 6% im Steigflug, und 5% beim Rollen (Bartsch, 2005).

Laut Klingauf und Vernaleken (2005) ist die häufigste Unfallursache im Luftverkehr der sogenannte „*Controlled Flight Into Terrain*“ (CFIT). Dabei handelt es sich um Unfälle, die aus mangelndem Situationsbewusstsein oder aus Desorientierung der Piloten resultieren. Die CFIT machen knapp ein Viertel aller tödlichen Flugunfälle aus. Weitaus die meisten Unfälle passieren in Bodennähe: rund 20% beim Start und 51% bei der Landung. Kollisionen zweier Flugzeuge in der Luft werden durch die zunehmende Verkehrsdichte wahrscheinlicher und sind ebenfalls auf mangelndes Situationsbewusstsein der Piloten, respektive der Fluglotsen zurückzuführen. Letzteres zeigt das Beispiel eines Zusammenstosses zweier Flugzeuge bei Überlingen im Jahre 2002, wobei der Fehler bei der Flugsicherung Skyguide lag.

### 3.4. Konsequenzen aus der Unfallforschung: Menschliches Versagen und Auslastungsfehler

Flugbetriebliche Störungen können nach Kruse (1995) im Flugzeug durch drei Faktoren ausgelöst werden: Durch menschliche oder technische Faktoren sowie durch Interaktionsprobleme zwischen Mensch und Maschine. Zur verbesserten Klassifikation von Flugunfällen hat die International Air Transport Association (IATA) begonnen, vier Kategorien von menschlichen Fehlern zu unterscheiden, wobei „H“ für Human steht:

- *H1* bezeichnet aktive Fehler, wobei Standards, Vorschriften und Anweisungen nicht eingehalten werden.
- *H2* sind passive Fehler, wie z.B. Missverständnisse oder Kommunikationsfehler.
- Unter *H3* wird fehlende Qualifikation zusammengefasst, wie z.B. fehlende Erfahrung, Inkompetenz und Probleme in der Mensch-Maschine-Interaktion.

- *H4* fasst schließlich die Untauglichkeit der Crew zusammen, die aus psychischen oder physischen Beeinträchtigungen nicht in der Lage ist, ihren Pflichten nachzukommen.

Die IATA unterscheidet des Weiteren noch technische, umweltbedingte und organisatorische Fehlerquellen. Abbildung 4 zeigt die Veränderung der vom Menschen verursachten Fehler von 1963 bis 1992. Während sich die H1-, H2- und H4-Fehler reduzierten, haben sich die H3-Fehler *mehr als vervierfacht* (Faber, 1994). Entsprechend kommt den H3-Fehlern eine besondere Bedeutung zu.

1963	1978	1992
H 1 = 40 %	H 1 = 52 %	H 1 = 27 %
H 2 = 49 %	H 2 = 34 %	H 2 = 19 %
<b>H 3 = 11 %</b>	<b>H 3 = 13 %</b>	<b>H 3 = 54 %</b>
H 4 = 0 %	H 4 = 1 %	H 4 = 0 %

Abbildung 4. Veränderung der menschlichen Fehler von 1963 bis 1992 (Faber, 1994)

Folglich sind hauptsächlich Qualifikationsdefizite der Besatzung und MMI-Probleme dafür verantwortlich, dass voll funktionsfähige Flugzeuge zum Absturz kommen. Deshalb muss die Ausbildung von Piloten und der gesamten Flugzeugbesatzung verbessert werden (Bartsch, 2005).

Durch die CFIT-Unfälle wird deutlich, dass bodennahes Fliegen verbessert werden muss. Einen viel versprechenden Ansatz zeigen Vernaleken, von Eckartsberg, Mihalic, Jirsch, Langner und Klingauf (2005), der darin besteht, so genannte „Synthetische Sichtsysteme“ einzubauen: ein Computer generiert anhand von Navigationsdaten eine dreidimensionale Außenansicht, die dem Piloten auf einem großformatigen Bildschirm präsentiert wird. Somit können unter Anderem gefährliche Geländeerhebungen mit Warnfunktion dargestellt werden. Weil der Mensch visuelle Informationen sehr schnell aufnehmen und verarbeiten kann, wird mit solchen Sichtsystemen das Situationsbewusstsein erhöht (Below, von Viebahn & Hammer, 1995). Umfangreiche Simulatoruntersuchungen haben die Wirksamkeit dieser Synthetischen Sichtsysteme bestätigt. Erfahrene Piloten erachten sie als sehr positiv (Klingauf & Vernaleken, 2005).

### 3.5. Komplexität im Cockpit und die Anforderungen an den Menschen

Nach Johannsen (1990) werden die *Aufgaben der Flugzeugführer* hierarchisch eingeteilt: zuerst hat der Pilot für die Stabilisierung\* zu sorgen, erst dann für die Lenkung\* und schließlich für die Navigation\*. Aufgaben sind einerseits Kontroll- und Entscheidungs- sowie anderer-

seits Problemlösefähigkeiten, wobei Ersteres eher sensomotorisch und Letzteres mehr kognitiver Art ist. Als „Sensomotorik“ werden die unmittelbare Steuerung und Kontrolle der Bewegungen des Menschen aufgrund von Sinnesrückmeldungen bezeichnet, wobei Prozesse von Sensorik und Motorik parallel ablaufen (Wikipedia, 2007): Während beispielsweise das Auge Veränderungen auf den Anzeigen wahrnimmt, werden nötige Steuerungskorrekturen durch Bewegungen sofort an das Flugzeug weitergegeben. Rasmussen (1983, n. Reifenberg, 2003) hat die Aufgaben der Piloten nach dem *Grad der kognitiven Beanspruchung* unterteilt:

- Skill-based behaviour (sensomotorische Fertigkeiten): Kontrolltätigkeiten in der normalen Betriebssituation.
- Rule-based behaviour (regelbasiertes Verhalten): Verhalten in vertrauten Situationen, in denen Regeln befolgt werden.
- Knowledge-based behaviour (wissensbasiertes Verhalten): Verhalten in Situationen, für die keine geeigneten Regeln existieren.

Um in gefährlichen Situationen adäquat handeln zu können, muss der Pilot regel- und wissensbasiertes Verhalten anwenden. In Situationen der Überforderung ist dies jedoch nicht immer gewährleistet. Umso wichtiger ist, dass das System den Piloten in schwierigen Situationen unterstützt.

Automatisierte Systeme entlasten die Piloten in vielen manuellen Aufgaben. Die Flugzeugführer müssen laut Johannsen (1993) jedoch die Systeme überwachen und jederzeit eingreifen können. Brainbridge (1983) beschreibt die „Ironie der Automation“: Damit spricht er das Paradoxon an, dass je mehr automatisiert wird, desto wichtiger der korrigierend eingreifende Mensch wird - vorab in Situationen, wo die Automatik ihre Grenzen erreicht. Das Gesamtsystem darf ein gewisses Maß an Komplexität nicht überschreiten, weil die höchsten kognitiven Anforderungen und damit die höchsten Belastungen erst im Störfall auftreten. Um in solchen Situationen das eventuell defekte System noch zu beherrschen, müssen Piloten in der Lage sein, das komplexe System manuell zu übernehmen, was eine viel höhere Qualifikationsstufe erforderlich macht (Reifenberg, 2003).

Weil die Technik immer zuverlässiger wird, beginnt der Mensch dem System zu vertrauen, was zu Überraschungen führt, wenn das System doch mal ausfällt. Problematisch wird es, wenn der Pilot nicht mehr weiß, ob das System sich im Zustand der Normalität oder bereits in einer Fehlfunktion befindet (Knorr, 1998).

Der *Grad der Komplexität* eines Systems wird laut Bartsch (2005) durch die Anzahl der Systemelemente und dessen Formen sowie den Verflechtungsgrad der Beziehungen zwischen Systemelementen und Systemumgebung bestimmt. Weil die Komplexität und die Anforde-

rungen an die Piloten, aber auch die Luftverkehrsdichte und der Wettbewerbsdruck immer weiter zunehmen, gewinnen die Frage nach der Flugsicherheit und die kritische Überprüfung der bisherigen Verkehrspilotenlizenzen an Bedeutung. Durch den höheren Automatisierungsgrad werden auch besser qualifizierte Piloten benötigt. Bei der Ausbildung muss nach dem Grundsatz verfahren werden, für die ungünstigste Situation die bestmögliche Befähigung der Piloten und der Crew zur Verfügung zu stellen.

### **3.6. Systemzuverlässigkeit und menschliche Zuverlässigkeit**

Die *Verlässlichkeit* bezieht sich auf das Gesamtsystem des Luftverkehrs und umfasst vier Aspekte: erstens muss die finale Entscheidungsgewalt beim Menschen liegen (Knorr, 1998); zweitens muss der Mensch über ausreichendes Wissen verfügen; drittens muss das System eine gewisse Fehlerrobustheit aufweisen und lernförderlich sein, und viertens muss es hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit garantieren. Verlässlichkeit ist daher das Zusammenspiel verschiedener Komponenten (Reifenberg, 2003).

#### **3.6.1. Technische Zuverlässigkeit und die Entschärfung des Risikofaktors Maschine**

Bartsch (2005) definiert *technische Zuverlässigkeit* als „Teil der Qualität im Hinblick auf das Verhalten während oder nach vorgegebener Zeitdauer bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen“. Laut Wikipedia (2007) ist *Zuverlässigkeit* „der Umfang, in dem von einem System erwartet werden kann, dass es die beabsichtigte Funktion mit der erforderlichen Genauigkeit über den Einsatzzeitraum ausführt. Sie umfasst Korrektheit, Robustheit und Ausfallsicherheit“. Bartsch (2005) erachtet es als zentral, dass auch die Wirkungen von Umgebungsbedingungen mitberücksichtigt werden. Weil technische Systeme von vielen Faktoren beeinflusst werden, müssen bereits in der Planungsphase die erforderlichen Grundlagen für eine zu erreichende technische Zuverlässigkeit bestimmt werden. Von mangelnder technischer Zuverlässigkeit kann also nicht gesprochen werden, wenn infolge höherer Beanspruchung ein Versagen eintritt. Zu den Kenngrößen von technischer Zuverlässigkeit gehören unter anderem Begriffe wie „Ausfallwahrscheinlichkeit“, „Ausfalldichte“, „Lebensdauer“ und „Ausfallrate“.

Zur Entschärfung des Risikofaktors „Maschine“ wird das sogenannte *Fail-Safe-Design-Concept* (FSDC) verwendet, dem der gesamte Entwicklungsprozess eines Verkehrsflugzeugs unterworfen ist (Kruse, 1995). Das FSDC betrachtet den potentiellen Ausfall einzelner technischer Komponenten und komplexer Systeme, mögliche Folgen dieses Ausfalls für das Flugverhalten sowie die erforderlichen Gegenmaßnahmen:

(1) Leitsatz 1 besagt, dass ein einzelnes Problem niemals zu einem Flugunfall führen darf, außer das Auftreten dieses Problems kann als extrem unwahrscheinlich angesehen wer-

den. Führt ein Systemversagen jedoch wahrscheinlich zu einem Unfall, müssen als Vorkehrung redundante Systeme eingebaut werden. So darf beispielsweise ein Verkehrsflugzeug niemals mit nur einem Triebwerk ausgestattet werden und muss auch mit einem Triebwerk flugfähig und lenkbar sein.

(2) Leitsatz 2 besagt, dass je größer die Wahrscheinlichkeit für einen Systemausfall ist, umso geringer dessen Folgen für die Flugsicherheit sein dürfen. Absolute Sicherheit kann es nicht geben, weil bereits Ausfallwahrscheinlichkeiten von  $10^{-1}$  als wahrscheinlich eingestuft werden. Für die Flugsicherheit werden Ereignisse erst bei Ausfallwahrscheinlichkeiten von  $10^{-3}$  bedeutsam, weil eine Störung ab diesem Punkt kompensiert werden muss. Dies bedeutet einen Einfluss auf die Arbeitsbelastung der Piloten. Beispielsweise ist die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Triebwerks etwa  $10^{-4}$ , d.h. bei 10'000 Starts ist mit einem Triebwerkausfall zu rechnen. Weil eine Wahrscheinlichkeit ab  $10^{-4}$  als „wahrscheinlich“ eingestuft wird, muss ein Pilot fähig sein, ein Flugzeug mit nur einem Triebwerk sicher zu landen (Kruse, 1995).

### 3.6.2. Menschliche Zuverlässigkeit und die Entschärfung des Risikofaktors Mensch

*Menschliche Zuverlässigkeit* definiert Bartsch (2004) als:

„Die Befähigung des Menschen im Arbeitssystem (hier: Mensch-Maschine-System), eine geeignete Qualifikation und entsprechende physische und psychische Leistungsvoraussetzungen in einen bestimmten Arbeitsprozess einzubringen und wirksam werden zu lassen. Damit soll dazu beigetragen werden, dass eine vorgegebene Aufgabestellung unter spezifischen Bedingungen und in einem vorgegebenen Zeitraum ausgeführt werden kann, wobei technische, wirtschaftliche, humanitäre und ökologische Kriterien sowie ein Fehlerakzeptanzbereich betrachtet werden.“ (S.14)



Abbildung 5. Einflussfaktoren auf die menschliche Zuverlässigkeit (Bartsch, 2005)

Technische und menschliche Zuverlässigkeit unterscheiden sich insofern, als dass der Mensch nicht wie die Maschine funktionell, sondern zielgerichtet handelt. Die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Fehlers für einen Handlungsschritt kann hoch, die Wahrscheinlichkeit, das Gesamtergebnis nicht zu erreichen, dennoch sehr klein sein. Mit anderen Worten: Der Mensch verfügt über die Fähigkeit, sein Handeln selbst zu überwachen und fehlerhafte Handlungsschritte zu korrigieren, bevor sie sich auf das System auswirken (Bartsch, 2005).

Um während des gesamten Fluges jederzeit die Technik zu beherrschen, muss der Pilot laut Reifenberg (2003) sein mentales Modell ständig aktualisieren, d.h. er muss die sich verändernde Situation jederzeit wahrnehmen. Der Pilot hat genau dann Situationsbewusstsein („Situation Awareness“), wenn er den aktuellen Systemzustand wahrnehmen und verstehen sowie zukünftige Situationen mental repräsentieren kann. Kommt es zu einem Verlust der „Situation Awareness“, besteht eine unvollständige oder falsche Repräsentation der Umwelt. Die Fähigkeit des Piloten, adäquat zu handeln, ist in Notfallsituationen herabgesetzt. Fehlverhalten und reduzierte „Situation Awareness“ kann aus einem Mangel an Wissen über den momentanen Status des Systems („Mode Awareness“) resultieren. Je komplexer die automatischen Systeme, desto höher ist die Anzahl möglicher Systemzustände und umso schneller kann der Mensch den Überblick über diese Systemzustände (Mode Awareness) verlieren (Tiemann & Borys, 1995).

### **3.6.3. Unerkannte Moduswechsel und die Theorie der gelernten Sorglosigkeit**

Die Komplexität des Cockpits bringt es mit sich, dass sowohl Pilot als auch System in der Lage sein müssen, einen Modus zu wechseln: Steuert z.B. der Autopilot die Höhe und erreicht das Flugzeug die eingegebene Höhe, behält das System diese Höhe bei und ändert somit den Modus ohne Zutun des Piloten. Gibt das System dem Piloten vor, nach einem Moduswechsel unterschiedlich zu handeln, kann dies gefährlich werden, wenn der Moduswechsel nicht erkannt wird und das Verhalten dem vorhergehenden und somit eventuell dem falschen Modus folgt (Müller, 1999). Piloten lesen Instrumente in bestimmten Blickzyklen ab und verteilen ihre Aufmerksamkeit entsprechend ihrer Erwartung über die Veränderungen von Instrumenten. Solange alle Systeme einwandfrei funktionieren, ist diese Strategie gut; Sobald jedoch etwas Unerwartetes passiert, wird sie problematisch (Lüdtke & Möbus, 2001). Dabei spielt die „Theorie der gelernten Sorglosigkeit“ eine Rolle, die einen Mangel an Bereitschaft beschreibt, fortlaufend Informationen zu beschaffen (Frey & Schulz, 1997). Diese Theorie bietet eine mögliche Erklärung, warum in routinemäßigen Bedienabläufen die Prüfung von Modi



---

unterlassen bleibt (Reifenberg, 2003). Auf Moduswechsel und die „Theorie der gelernten Sorglosigkeit“ wird in Kapitel 4.1. nochmals eingegangen.

### **3.7. Die Cockpit-Automatisierung und die Wichtigkeit der MMI-Forschung**

Laut Knorr (1998) hat langzeitliche Flugunfallforschung gezeigt, dass die Automatisierung in modernen Flugzeugen viele Verbesserungen gebracht, aber auch zu erhöhter Komplexität geführt hat. Weil heute auf immer weniger Bildschirmen immer mehr Informationen dargestellt werden, liegt das Hauptproblem der Glascockpits darin, dass sich taktiles Feedback fast ausschließlich auf den visuellen Kanal verlagert hat. Diese Verlagerung kann dazu führen, dass die menschliche Aufnahmekapazität für visuelle Informationen überfordert wird. In Stresssituationen kann es passieren, dass wesentliche Signale nicht aufgenommen werden.

Hughes (1995, n. Reifenberg, 2003) berichtet, dass die Ursachen von Problemen am häufigsten in der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine liegen, und unterscheidet vier Hauptursachen:

1. Die Automatik ändert ihre Arbeitsweise, ohne dass es die Piloten bemerken, oder sie ändert sich anders als es die Piloten erwarten;
2. Die Piloten sind sich über eine Einstellung der Automatik nicht mehr im Klaren;
3. Die Automatik wurde falsch programmiert;
4. Einer der beiden Piloten ändert eine Einstellung, ohne dass es der andere bemerkt.

Wegen immer größer werdenden Flugzeugen haben Katastrophen ein immer fataleres Ausmaß (Reifenberg, 2003). Menschliche Fehler durch eine verbesserte Mensch-Maschine-Interaktion zu reduzieren, wird seit 1975 als „die letzte herausfordernde Grenze der Flugsicherheit“ bezeichnet (Lüdtke & Möbus, 2002). Bartsch (2005) weist darauf hin, dass es zwischen menschlicher Zuverlässigkeit und effektiven, sicheren und humanen Mensch-Maschine-Systemen einen starken Zusammenhang hinsichtlich der Flugsicherheit gibt. Zunehmende Unfallzahlen aufgrund menschlicher Fehler sind alarmierende Signale.

Weitere Autoren (Kruse, 1995; Lüdtke & Möbus, 2002; Bartsch 2005) sind sich einig, dass Probleme der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Zukunft weiter verbessert werden müssen.

## 4. Forschung im Cockpitdesign

Weil das Cockpit aus vielen Einzelteilen unterschiedlicher Hersteller zusammengebaut wird, ist das Design des Cockpit-*Gesamtsystem* oft nicht optimal (Reifenberg, 2003). Daher entwickelte Boeing die „*Flight Deck Design Philosophy*“, mit dem Ziel einer einheitlichen Entwicklungsstrategie: Erstens sollen die Systeme im Cockpit so weit wie möglich vereinfacht werden; zweitens steht das Prinzip der Redundanz im Mittelpunkt. Stossen Vereinfachung und Redundanz an ihre Grenzen, ist das dritte Prinzip entscheidend, welches besagt, dass möglichst anwenderfreundlich respektive „crew-centered“ automatisiert werden soll. Boeing hat folgende Leitsätze aufgestellt:

1. Der Pilot ist die letzte Entscheidungsinstanz an Bord und hat die volle Verantwortung für das Flugzeug; die Systementwicklung muss dies immer gewährleisten.
2. Beide Besatzungsmitglieder sind für einen sicheren Flug verantwortlich; das System muss deshalb gewährleisten, dass beide Piloten jederzeit wissen, was der andere tut.
3. Flugsicherheit kommt bei Entscheidungen im Cockpit vor Komfort, Service und sogar Effizienz.
4. Systeme müssen so entwickelt werden, dass keine Fehler gemacht werden.

Die Umsetzung dieser Leitsätze ist nicht einfach; daher wird versucht, den Systemen eine gewisse Fehlertoleranz zu geben (Braune, 1994).

### 4.1. Die Aufdeckung von Betriebsfehlern und Diskrepanzen im Cockpitdesign

Funk, Lyall, Wilson, Vint, Niemczyk, Suroteguh und Owen (1999) haben eine Untersuchung der Pilot-Cockpit-Interaktion durchgeführt: Dabei fanden sie 166 Problembereiche im Cockpit-Design und belegten eine schwerfällige Automatisierung. Folgen können im Extremfall Zusammenbrüche der Mensch-Maschine Interaktion sein (Sarter, Woods & Billings, 1997).

Lüdtke und Möbus (2002) haben sich zum Ziel gemacht, Methoden zu entwickeln, um bereits bei der Entwicklung von Cockpitsystemen Stellen im Design aufzudecken, welche für die Aufrechterhaltung der Mode Awareness kritisch sind. In ihrer Untersuchung wird die menschliche Kognition als Hauptursache für den Verlust der Mode Awareness betrachtet.

Das *Cognitive Engineering Tool* besteht aus Softwaresystemen, die Entwickler unterstützen, ihre Systeme unter Berücksichtigung kognitiver Prinzipien zu entwickeln (Woods & Roth, 1988). Mit dem Cognitive Engineering Tool werden formale Systemdesigns analysiert und potentielle Bedienungsfehler vorhergesagt.

Lüdke und Möbus (2002) befassen sich mit zwei Eigenschaften von Designs, die zum Verlust der Mode Awareness beitragen können: „Indirekte Modusübergänge“ und „inkonsis-

tentes Verhalten“, zusammengefasst als sogenannte „Weichenstruktur“. Bei einem „indirekten Modusübergang“ handelt es sich um einen neuen Modus, der entweder direkt vom Benutzer oder indirekt vom Gerät selbst aktiviert wird. Ein Beispiel für einen indirekten Modusübergang ist der automatische Wechsel des Autopiloten vom Modus „eine programmierte Höhe anfliegen“ in den Modus „die erreichte Höhe beibehalten“. Kritisch wird es dann, wenn der Pilot diesen indirekten Modusübergang nicht bemerkt. Beim „inkonsistenten Verhalten“ handelt es sich um das Problem, dass sich ein modusbasiertes System inkonsistent verhalten kann, wenn der auf eine Benutzeraktion folgende Modus (Nachfolgemodus) in Abhängigkeit vom vorher aktiven Modus (Vorgängermodus) unterschiedlich sein kann (vgl. Abbildung 2).

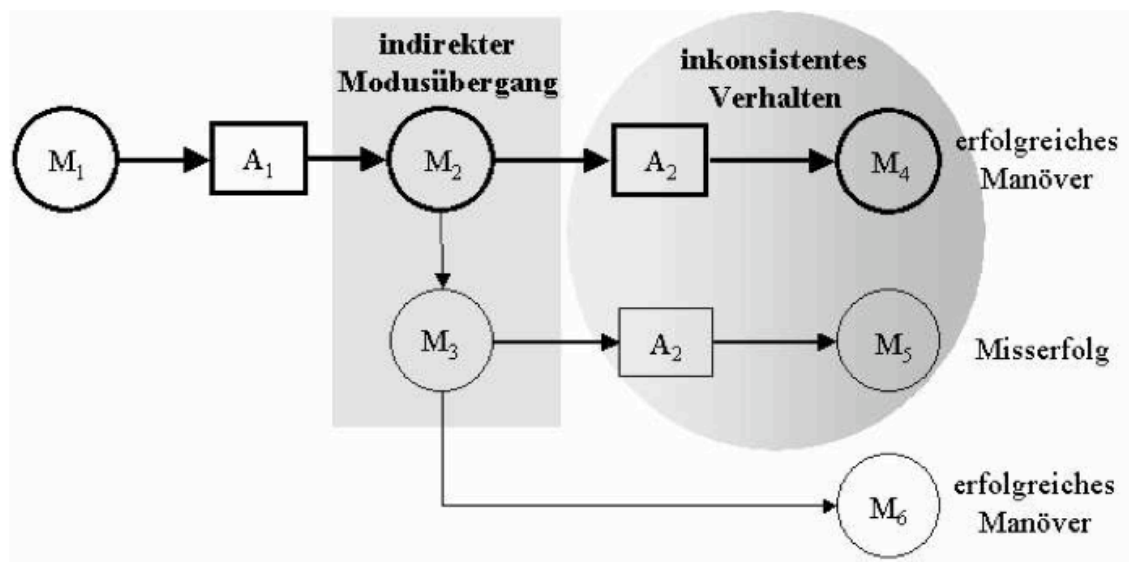


Abbildung 6. Weichenstruktur (Lüdtke & Möbus, 2002)

Nach der Aktion A1 und dem indirekten Modusübergang muss sich der Pilot unterschiedlich verhalten, wobei auch keine Handlung ein Verhalten ist. Die Gefahr lauert darin, dass der Pilot den Übergang von M2 zu M3 nicht bemerkt und sich wie im Modus M2 verhält. Die Situation wird noch erheblich verschärft, wenn die Gestaltung der Modusanzeige im Cockpit ähnlich und schwer zu unterscheiden ist.

Das Prinzip der „gelernten Sorglosigkeit“ bietet einen Erklärungsansatz, warum es passieren kann, dass Modusüberprüfungen nicht durchgeführt werden. Gelernte Sorglosigkeit besagt, dass „wenn sich jemand sicherheitswidrig verhält und dennoch keine negativen Konsequenzen erlebt, diese Person eine Annahme respektive eine Haltung entwickelt, in der alles gut ist und auch gut bleiben wird“ (Frey & Schulz, 1997). Es kommt zu einer mangelnden Bereitschaft, Informationen zu beschaffen. Daraus resultieren „Trampelpfade“ (in obiger Abbildung fett markiert), die der Benutzer routinemäßig begeht. Kritisch ist eine Weichenstruk-

tur dann, wenn der zugehörige indirekte Moduswechsel erst spät eintritt, so dass genügend Zeit bleibt, die gewohnten Manöveraktionen durchzuführen. Ein früher Moduswechsel wird nach dem Prinzip der gelernten Sorglosigkeit nicht bemerkt und die Aktionen werden wie gewohnt fortgesetzt. Das Prinzip der gelernten Sorglosigkeit kommt also nur dann als Erklärung in Frage, wenn der Benutzer genügend Zeit zur korrekten und sorgfältigen Manöverdurchführung hätte und trotzdem die Modusüberprüfung an entscheidenden Stellen unterlässt.

Zur Untersuchung der Mode-Awareness diente ein Simulator der Lufthansa Verkehrsfliegerschule. Untersucht wurden vorrangig Bedienungsfehler bezüglich des Autopiloten. Die Piloten wurden zuerst auf ihr korrektes mentales Modell getestet: Alle wussten, welche Handlungen in welchen Modi zu den gewünschten Zielzuständen führen und waren in der Lage, dieses Wissen anzuwenden. Die Prognose von Bedienungsfehlern verlief in zwei Schritten und wurde für jedes Manöver separat analysiert: In einer Vorstufe wurde untersucht, ob eine Weichenstruktur vorhanden ist oder nicht. Anschließend wurde das Design in einem realistischen Szenario simuliert.

Lüdtke und Möbus (2002) konnten in ihrer Simulatoruntersuchung zeigen, dass Piloten Fehler im Sinne der „gelernten Sorglosigkeit“ begehen. Indem sie eine formelle Rekonstruktion der Autopilot-Moduslogik, Aktionssequenzen und verfeinerte Bedienungsregeln für verschiedene Manöver verfassten sowie ein Systemdesign, ein Flugzeugmodell, ein Umgebungsmodell, einen Szenariengenerator zur Repräsentation des Flugbetriebs und ein Pilotenmodell verwendeten, konnten sie Schwächen im Design aufspüren und näher untersuchen.

Die Anwendung des Modells soll zur Prognose von Bedienungsfehlern verwendet werden. Ziel für die zukünftige Entwicklung von Automatisierungssystemen ist es, durch geeignete technische Maßnahmen den Verlust der Mode Awareness zu verhindern und somit Bedienungsfehler zu minimieren. Auf diese Weise wird im Sinne eines Menschen-zentrierten Designprozesses (Billings, 1997) die Technik dem Menschen angepasst.

## **4.2. GOMS-Analyse eines Cockpits**

Das GOMS-Modell wurde 1983 von Card, Moran und Newell entwickelt. Als eines der ersten theoretischen Konzepte zur Analyse von Interfaces (hauptsächlich von Computern) erlaubt GOMS Vorhersagen, inwieweit ein Benutzer gewisse Vorkenntnisse besitzen muss, um Aufgaben innerhalb eines Systems oder Interface erfolgreich lösen zu können. GOMS steht für Goals, Operations, Methods und Selection Rules. Besonders gut eignet sich das GOMS zur Überprüfung von Prototypen und Systementwürfen. Aus den Resultaten der GOMS-Analyse resultieren Problemzonen und Unsicherheiten des Systems, durch dessen Überarbeitung das

Interface vereinfacht und die Benutzbarkeit verbessert werden kann (Card, Moran & Nowell, 1983). Weil es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, GOMS-Modelle eingehend zu erklären, sei auf Card et al. (1993) oder John und Kieras (1994) verwiesen.

Eldredge, Mangold und Dodd (1992) haben vorgeschlagen, Techniken für Analysen von kognitiver Inanspruchnahme bei Büro-Automatiken auch auf moderne Cockpits anzuwenden. Mit der GOMS-Analyse nahmen Irving, Polson und Irving (1994) diese Herausforderung an. Am Interface des Flight Management Computer (FMC)\* namens Control and Display Unit (CDU)\* identifizierten sie Fähigkeiten, die Piloten brauchen, um das FMC zu bedienen. Das FMC wurde gewählt, weil es als komplexes System bekannt ist (Irving, Polson & Irving, 1994).

In der Studie von Irving et al. (1994) war das *Ziel (Goal)*, ein modernes Flugzeug vom Ausgangsflughafen zum Zielflughafen zu bringen. Dieses Ziel war unterteilt in viele Unterziele und diese wiederum in weitere Unterziele. Dies führt zu einer Zielhierarchie. Aufgrund der hohen Komplexität wurde nur eine limitierte Anzahl von (FMC-bezogenen) Unterzielen verwendet. *Operationen (Operations)* sind laut Chuh (2006) sensorische, kognitive und motorische Prozesse – beispielsweise, eine Information vom Bildschirm abzulesen, eine Information mental zu verarbeiten oder einen Knopf zu drücken. Anhand der korrekten Ausführung einer Reihe von Operationen erreicht der Pilot ein Unter- oder sein Hauptziel. *Methoden (Methods)* betreffen die Reihenfolge von Operationen, die nötig sind, um ein (Teil-)Ziel zu erreichen: Im konkreten Fall die Abfolgen in der Bedienung des FMC\*. *Auswahlregeln (Selection Rules)* sind jene Wenn-Dann-Regeln, die bestimmen, wann welche Methode zum Zuge kommt; mit anderen Worten: sind diverse Methoden zum Erreichen eines Zieles möglich, so bestimmen die Selection Rules, welche Methode gewählt wird. Sie sind abhängig vom Problemlösewissen der Person und davon, was die Person in ihrem mentalen Speicher geladen hat.

Irving et al. (1994) haben zwei Aufgaben mit dem GOMS-Modell bearbeitet, wobei sie das GOMS in der „Natural GOMS Language“ (NGOMSL) beschrieben haben:

1. Analyse von Aufgaben vor dem Flug: Den FMC\* für den Flug programmieren.
2. Analyse von Aufgaben während des Fluges: Den FMC\* umprogrammieren, wenn die Flugsicherung neue Anweisungen erteilt.

In Abbildung 3 besteht das GOMS-Modell aus einer Sequenz von sechs aufgerufenen Methoden. Jedes einzelne „Accomplish Goal“ könnte seinerseits eine andere Methode aufrufen (z.B. könnte Methode 2 auch „Install manual route“ aufrufen). Diese Aufgabe wird von

---

### Method to Accomplish goal of INSTALL ROUTE

1. Accomplish goal of ACCESS (Route Area)
2. If cleared route is Company Route, then  
Accomplish Goal of INSTALL COMPANY ROUTE  
else  
Accomplish Goal of INSTALL MANUAL ROUTE
3. Accomplish Goal of DESIGNATE (Departure Runway)
4. Accomplish Goal of INSERT (Departure Runway)
5. Accomplish Goal of VERIFY (Route Entry)
6. Decide if route should now be activated and executed  
then  
Accomplish Goal of ACTIVATE and EXECUTE (Route Entry)  
else  
Retain that route is not Executed.
7. Report goal accomplished.

*Abbildung 7.* Beispiel einer Methode der 1. Aufgabe: Programmierung des FMC vor dem Flug (Irving et al., 1994)

den Piloten innert drei bis sechs Minuten ausgeführt (Irving et al., 1994).

Das CDU\* basiert auf drei Methoden: (1) „Access“: Zugriff auf die gewünschte Seite des CDU, z.B. die Seite zur Eingabe der Wegpunkte anzeigen lassen. (2) „Designate“: Eingabe von Daten respektive Parametern am CDU, z.B. einen Wegpunkt auswählen. (3) „Insert“: Bestätigung und Zuweisung von Informationen, die unter (2) eingegeben wurden, z.B. den Wegpunkt bestätigen; Unterschied zu (2) ist, dass der FMC\* hier die Daten überprüft und eine Meldung zurückgibt.

Irving et al. (1994) stellten Fragen bezüglich Lernschwierigkeiten, Informationsabruf aus dem Langzeitgedächtnis, Zuverlässigkeit von Informationsgewinnung aus der Umwelt bei unterschiedlicher Arbeitsbelastung sowie benötigtem Wissen betreffend Flugdokumenten.

Verglichen wurden vier Gruppen: (1) Piloten, die ohne FMC\* für eine Fluggesellschaft arbeiteten („200er Piloten“); (2) Piloten, die durchschnittlich 400 Flugstunden hatten und nie für eine Gesellschaft geflogen waren („Students“); (3) Piloten, die soeben die Ausbildung für die Boeing 737-300 abgeschlossen hatten („300er Piloten“) und (4): Piloten, die mindestens ein Jahr mit dem FMC\* geflogen waren („Experten“).

Nach der Durchführung einer detaillierten Analyse von Aufgaben am FMC\* wurde ein computer-basiertes Trainingprogramm entwickelt. Irving et al. (1994) trainierten Gruppen 1 und 2. Diese lernten, an einem nachgebauten CDU-Interface auf einem Computer mit dem FMC\* umzugehen. Schließlich wurden alle Testpersonen in einem bestimmten, realistischen Flugszenario im Simulator getestet.

Irving et al. (1994) konnten zeigen, dass das GOMS bezüglich „Access“, „Designate“ und „Insert“ verschiedene Schwierigkeiten aufdecken konnte. Access: Der erste Umgang mit den Funktionstasten ist schwierig; hat der Pilot die Unterscheidung dieser Tasten jedoch verstanden, kann er einfach auf Informationen zugreifen. Simulatoruntersuchungen haben gezeigt, dass einige Piloten eine Eingabe gemacht haben, die das System nicht verstanden hat. Die Fehlermeldung „Not in Database“ interpretierten die Piloten oft als typografischen Fehler statt als Eingabe eines undefinierten Codes, den das FMC\* nicht versteht – ein typisches Access-Problem. „Designate“ bereitet Schwierigkeiten, weil die Bezeichnungen von Wegpunkten zum Teil sehr ähnlich sind (beispielsweise „IOC“ für Kiowa oder „IOW“ für Iowa City). Das FMC\* bietet auf dem CDU-Display verschiedene Linien an. Je nachdem, auf welche Linie der Pilot einen Wegpunkt legt, wird ein anderer Befehl ausgeführt. Bei „Insert“ können nun schnell Fehler auftreten, weil die Methode Eingaben bestimmten Linien zuweist. Beispiel: Weist der Pilot einen Wegpunkt einer falschen Linie zu, fliegt das Flugzeug von der momentanen Position direkt zum eingegebenen Wegpunkt, anstatt den eingegebenen Wegpunkt erst nach einer Reihe anderer Wegpunkte anzufliegen.

Alle Piloten konnten das Szenario durchspielen; einige brauchten jedoch Hilfestellungen. Jede der vier Gruppen machte Fehler. Gemessen wurden die Anzahl korrekter Lösungen von Aufgaben sowie die dazu benötigte Zeit. Die 300er-Piloten zeigten bessere Leistungen als die experimentell trainierten Piloten (200er-Piloten und Students). Wie erwartet, zeigten die Experten die besten Leistungen (Irving et al. 1994).

Mit Hilfe des GOMS-Modells wurden Fehler-Ursachen aufgedeckt. Fazit: Das FMC\* ist für den alltäglichen Gebrauch *nicht optimal*. Die Analyse der CDU-Bedienung zeigte, wo viele Tasteneingaben nötig waren und wo für Novizen erheblicher Lernaufwand besteht. Des Weiteren brachte GOMS einen wichtigen Einblick in die kognitive Beanspruchung der Piloten bei der Arbeit mit dem FMC\*. In dieser Untersuchung hatten auch Experten Probleme, die vorgegebenen Aufgaben ohne Hilfeleistungen korrekt auszuführen. Festzuhalten ist einerseits, dass gewöhnliche Methoden der Bedienung des CDUs komplex sind und zum Teil hohe Anforderungen ans Gedächtnis des Piloten stellen, und andererseits, dass GOMS-Analysen laut Irving et al. (1994) eine wertvolle Möglichkeit bieten, komplexe Abläufe zu analysieren und zu verbessern.

### 4.3. Zwei ausgewählte Studien

Im Folgenden werden zwei Studien präsentiert, die den Erfolg von MMI-Forschung im Cockpit belegen: Die erste Studie hat zum Ziel, die Verhandlungen von Flugdaten zwischen Piloten und Flugsicherung mittels Data-Link zu erleichtern, indem der Sprechfunk durch eine

visuelle Darstellung ersetzt wird. Die zweite Untersuchung behandelt ein Assistenzsystem, das den Piloten je nach Belastungsgrad Handlungsalternativen anbieten oder bei Überforderung Planungstätigkeiten vollständig abnehmen soll.

#### 4.3.1. Data-Link vs. Sprechfunk

Durch die zunehmende Komplexität der Cockpit-Instrumente verändern sich die Anforderungen an die Informationsdarstellung maßgeblich und angesichts des vermehrten Verkehrsaufkommens muss die Flugführungsaufgabe effektiv gehalten werden. Hüttig (1997) hatte sich zum Ziel gesetzt, die Informationsdarstellung und -verarbeitung im Cockpit zu optimieren. Sein Hauptziel war es, *Alternativen zum Sprechfunk* zu finden, der bis heute die Luftfahrt beherrscht: Informationen sollten via Data-Link digital von der Flugsicherung zum Flugzeug übertragen werden. Der EDV-Begriff „Data-Link“ heißt wörtlich „Datenverbindung“ und bezeichnet die direkte Verbindung zweier Computer, im Fall der Flugführung über Funk. Die Phraseologie und die genauen Regeln, nach denen die Kommunikation in der Luftfahrt abläuft, boten eine gute Ausgangsbasis für die Entwicklung eines Systems, das Kontrollanweisungen visuell statt auditiv darstellt. Das neue System sollte dem Piloten ermöglichen, die Informationen auch zu einem späteren Zeitpunkt nochmals abzurufen. Außerdem sollen die Data-Link-Funktionalitäten das Verarbeiten von langen Texten (wie z.B. Wetterdaten, ATIS) sowie die Verhandlung von Flugplandaten zwischen Piloten und Flugsicherung erleichtern. Bereits 1990 wurde versucht, Streckenfreigaben mittels digitalem Data-Link zum Flugzeug zu senden und dort im bordeigenen Computer auszudrucken. Anfänglich gab es Probleme, insbesondere mit der Zuverlässigkeit des Systems und mit zu langen Antwortzeiten. Laut Hüttig (1997) wurden in einem ersten Entwicklungsschritt die bisher verbalen Flugsicherungsinformationen durch eine alphanumerische Darstellung in einem Simulator ersetzt. Dazu wurde ein experimentelles Navigationsdisplay\* mit integriertem Air Traffic Control (Flugsicherung) Display zur Anzeige kurzfristiger Anweisungen entwickelt, implementiert und in Simulatorversuchen evaluiert. In weiteren Entwicklungen wurden auch das FMS\* und dessen Benutzerschnittstelle MCDU (Multi-purpose Control Display Unit)\* um Data-Link-Funktionen erweitert. Die Auswirkungen der integrierten Data-Link-Umgebung auf die Arbeitssituation im Cockpit wurden in 15 realitätsnahen Versuchen mit 30 erfahrenen Piloten im A340-Simulator untersucht.

Laut Hüttig (1997) wurden während des Simulatorfluges alle wichtigen Flugparameter (u.a. Fluggeschwindigkeit, geografische Koordinaten, Sidestickausschläge\*, etc.) und die Blickbewegungen mit Hilfe des ISCAN-System gemessen. Nach dem Flug wurde die Beanspruchung der Piloten anhand des „NASA Task Load Index“ (Hart & Staveland, 1988) fest-



gestellt. Der gesamte Ablauf wurde auf Video festgehalten. Zur Auswertung dienten unter anderem die Fixationszeiten verschiedener Instrumente, die Blickzyklenzahl und die Blickzyklenzeit. In einem Blickzyklus werden Displays respektive Daten dieser Anzeigen mit den Augen in einer bestimmten Reihenfolge erfasst. Miteinbezogen wurde die Anzahl der Blickzyklen, welche der Pilot durchführt, ohne ein Display ein zweites Mal innerhalb eines Blickzyklus zu scannen.

Hüttig (1997) konnte zeigen, dass Piloten mit der Sprechfunkkommunikation signifikant höher beansprucht wurden. Die Piloten empfanden keine höhere Beanspruchung durch die Data-Link-Bedingung. Dieses Resultat ist umso bedeutender, als ein erheblicher Routineunterschied zwischen den alltäglichen Sprechfunkbedingungen und der neuen Data-Link-Umgebung besteht. Weitere Resultate zeigten eine deutliche Verringerung der Bearbeitungszeiten in der Bedingung der Data-Link-Kommunikation. Rund 90% der Piloten stuften die Arbeit mit Data-Link als ‚befriedigend‘ oder ‚besser als Sprechfunk‘ ein. Die Piloten kritisierten jedoch die zusätzliche Belastung des visuellen Kanals und die Überlagerung der Seiten der Data-Link-Kommunikation mit anderen wichtigen Display-Seiten des MCDU\*. Anlass zur Diskussion gab auch der Wegfall des Party-Line-Effekts, der das Mithören der Sprechfunkkommunikation zwischen anderen Luftfahrzeugen und der Flugsicherheit ermöglicht. Mit dem Wegfall des Party-Line-Effekts kommt es zu einem Informationsverlust betreffend der aktuellen Verkehrslage. Um diesen Wegfall zu kompensieren, wurde eine neue Anzeige ins experimentelle Navigationsdisplay\* (eND) integriert, die dem Piloten den umgebenden Luftverkehr (die umgebenden Flugzeuge mit Flugnummer, Höhe und Kurs) anzeigen soll. Auch diese Anzeige wurde in Simulatoruntersuchungen getestet. Mitten im Flug wurde die Simulation angehalten und die Piloten gefragt, wie die aktuelle Verkehrslage aussieht: Die Erinnerungsleistung fiel mit 5 bis 53% Erinnerung sehr unterschiedlich aus. 2/3 der Piloten waren mit diesem Verkehrsanzeige-System zufrieden, 1/3 kritisierte das überfüllte Display und die zusätzliche Belastung des visuellen Kanals. Laut Klingauf und Vernaleken (2005) resultiert durch die Verbindung der Flugzeuganzeige mit den Anzeigen der Flugsicherung via Data-Link erhöhte Sicherheit, indem Pilot und Fluglotse über das gleiche, präzise Bild der aktuellen Verkehrslage verfügen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Data-Link vielversprechende und zukunftsweisende Möglichkeiten für die Kommunikation zwischen Flugzeug und Flugsicherung bietet. Studien wie jene von Helleberg und Wickens (2003) belegen die hohe Effektivität von Data-Link.

### 4.3.2. CASSY – CockpitASSistenz-System

CASSY wurde 1994 von der Universität der Bundeswehr München und der Firma Dornier Luftfahrt GmbH entwickelt und getestet (Onken, 1996). Assistenzsysteme erkennen die Absichten der Piloten und modifizieren die Zielhierarchie entsprechend. Des Weiteren werden Fehler diagnostiziert, in Konflikten selbständig Lösungsvorschläge generiert und überprüft. Die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine sollte den Piloten möglichst minimal beanspruchen und mittels natürlichen Kommunikationsformen ablaufen (Reifenberg, 2003). Die Initiative für eine Handlung kann grundsätzlich vom Piloten oder vom Assistenzsystem ausgehen – jedoch geht sie oft von der Maschine aus, um den Piloten zu entlasten. Die Verantwortung für Entscheidungen bleibt laut Onken (1998) aber stets dem Flugzeugführer überlassen. Er muss in der Lage sein, jederzeit Informationen abfragen zu können. Je nach Belastungsgrad des Piloten soll das Assistenzsystem mit einem Handlungsvorschlag abwarten, Handlungsalternativen anbieten oder dem Piloten bei Überforderung die Planungstätigkeit ganz abnehmen. Weil es schwierig ist, den Beanspruchungsgrad des Piloten zu erfassen, behilft man sich mit der Erkennung und Auswertung von Fehlhandlungen (Onken, 1998).

Laut Reifenberg (2003) ist CASSY ein wissensbasiertes Computersystem mit Schnittstellen zur Avionik (Gesamtheit der elektrischen und elektronischen Geräte an Bord) des Flugzeugs, zur Flugsicherung und zur Besatzung. Aufgaben von CASSY sind es, dafür zu sorgen, dass keine relevanten Informationen unbeachtet bleiben und dass Handlungen der Besatzung im Einklang stehen mit dem geplanten Flugverlauf und mit Vorgaben der Flugsicherung. Diese Aufgaben bewältigt CASSY durch die permanente Situationserfassung und -beurteilung (Onken, 1996). CASSY versucht die *Unterstützung der Besatzung* durch die Erfassung aktueller Situationsdaten, die selbständige Erarbeitung von Flugplan- und Handlungsvorschlägen, sowie durch die autonome Darstellung der aktuellen Situation, indem die erfassten Situationsdaten, das Wissen über die aktuelle Flugaufgabe und das Wissen über Pilotenverhalten und -ressourcen mit einbezogen werden. Erarbeitete Vorschläge werden mit den Flugzeugführern abgestimmt. CASSY arbeitet ‚im Hintergrund‘ und überwacht den Flugablauf; es bleibt solange unbemerkt, bis Konflikte im Flugablauf oder Flugplanabweichungen im Pilotenverhalten auftreten.

Abbildung 4 zeigt den Aufbau von CASSY: *Dialogue Manager*: Informationsaustausch zwischen CASSY und Besatzung; erfolgt über Spracherkennung (Verbindungsworterkennung), synthetische Sprache und ein Grafikdisplay. Die Schnittstelle zur Flugsicherung erfolgt über Data-Link-Verbindung. *Automatic Flight Planer*: Erstellt einen optimalen Flugplan auf der Basis der Situations- und Systemanalyse und bezieht dazu Wünsche und Anweisungen der

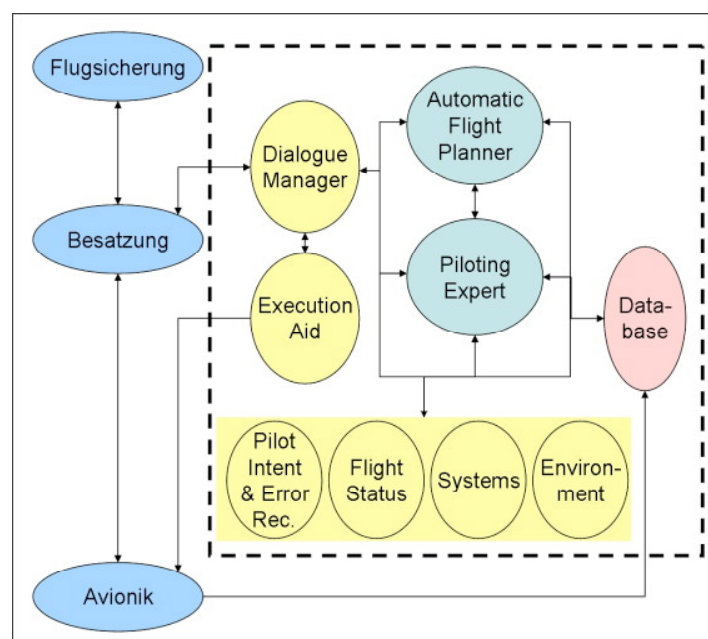


Abbildung 8. Struktur von CASSY nach Onken (1996)

Besatzung mit ein; projiziert Flugpläne und Situationen in die Zukunft, um mögliche Konflikte zu erkennen; generiert im Konfliktfall Planungsalternativen (insbesondere für Flughäfen und Flugrouten); legt den generierten Plan in einem Datenpool ab. *Piloting Expert*: Pilotenmodell des Systems in den Bereichen der Plandurchführung und der lokalen Planung; Generierung der zu erwartenden Aktionen der Besatzung (unter Einbezug des Flugplans, von Meldungen über Systemausfälle, der Umweltsituation und der Beobachtung des Flugfortschritts); beachtet Verhaltensmuster des aktuellen Piloten, des Standard-Piloten und die Grenzen zu einer objektiven Gefährdung. *Pilot Intent and Error Recognition*: Vergleicht das im Piloting Expert erzeugte Referenzverhalten mit dem aktuellen Verhalten der Besatzung; Diskrepanzen führen zu Hinweisen und Warnungen über die Sprachausgabe, falls ein Pilotenfehlerverhalten vorliegt; wenn das Pilotenverhalten auf eine sinnvolle, veränderte Absicht schließen lässt, kann diese durch den Automatic Flight Planer in einer Umplanung berücksichtigt werden. *Execution Aid*: Unterstützt die Crew bei der Plandurchführung mit über Spracheingabe abrufbaren Dienstleistungen (unter anderem die Bedienung des Autopiloten, Setzen der Landeklappen, Fahrwerk, Navigation\*, etc.). *Monitoring of Flight Status, System, Environment*: Überwachung des Flugzustandes, der Bordsysteme und der Umwelt (Reifenberg, 2003).

Laut Onken (1996) wurde CASSY in zwei verschiedenen Simulatoren und in der Realität mit 30 erfahrenen Lufthansa-Piloten erprobt. Die Funktionsweise von CASSY wurde während allen Flügen aufgezeichnet und nach jedem Flug anhand eines Fragebogens erfasst. Die Funktionsfähigkeit von CASSY konnte während des gesamten Fluges inklusive Start und Landung verifiziert werden. Die Piloten erachteten CASSY als sinn- und wertvolle Unterstüt-

zung im Flugbetrieb; die pilotenseitige Akzeptanz von CASSY konnte immer wieder bestätigt werden. Die automatische Flugplanung hat zu sehr guten Ergebnissen geführt (Onken, 1996). CASSY berechnete während des gesamten Fluges einen dreidimensionalen Flugplan, der über genaue Zeitschätzungen verfügte, erkannte Handlungsfehler der Besatzung und zeigte die richtigen Hinweise respektive Warnungen an. Das bewusste Abweichen der Besatzung vom Flugplan hatte CASSY erkannt und einen neuen Flugplan berechnet. Die Interaktion zwischen Flugzeugführern und CASSY wurde durch die autonome Verarbeitung von Flugsicherungsanweisungen und durch die Spracherkennung/Sprachsynthese beschleunigt und erleichtert; die Besatzung hatte somit mehr Zeit, sich der Flugführung und der Luftraumbeobachtung zu widmen (Reifenberg, 2003). CASSY ist somit ein Cockpitassistenzsystem, das immense Vorteile für die Piloten hat, technisch umsetzbar ist und ein gutes Beispiel für eine erfolgreiche Mensch-Maschine-Interaktion darstellt.

Weitere Bemühungen zur Entwicklung von Assistenzsystemen gingen von Banks und Lizza (1991) aus, die eines der ersten intelligenten User-Interfaces entwarfen. Im so genannten *Rotorcraft Pilot's Associate*-Programm, das von der US Army lanciert wurde und innerhalb von fünf Jahren 80 Millionen US-Dollar verschlang, wurde ein kognitives Unterstützungssystem für Helikopterpiloten entwickelt. Ziel dieses Projektes war es, ein Assistenzsystem für Kampfhelikopter-Piloten zu entwickeln, um sie bei ihren Entscheidungen in einem informationsüberfluteten Kampfgebiet angemessen zu unterstützen. Der Erfolg zeigte sich darin, dass das System die Effektivität der Helikoptersteuerung erhöht, die Arbeitsbelastung reduziert und die Akzeptanz der Piloten gewinnt. Letztere Erkenntnis resultierte aus der Tatsache, dass alle Testpiloten das System während der Simulation eingeschaltet ließen, obwohl sie es hätten ausschalten können – ein Zeichen von Vertrauen in die neue Technologie (Miller & Hannen, 1999).

#### **4.4 Die Frage der Integration der MMI ins Cockpitdesign: Meinungen von Fachleuten**

Um einen Einblick zu bekommen, wie Fachleute über aktuelle Gegebenheiten und Probleme denken, habe ich eine Online-Befragung aufgeschaltet. Die Teilnehmer wurden über einen Link auf den Seiten [pilots.de](http://pilots.de) und [cockpitjobs.de](http://cockpitjobs.de) rekrutiert. An der Umfrage nahmen 56 Berufspiloten, 6 Nicht-Berufspiloten, 1 Instruktor, 1 Flugschüler und 1 Flughafenleiter & Fluglehrer teil. Die Befragten hatten unterschiedliche Flugerfahrungen: Von wenigen Monaten bis zu 30 Jahren.

Ziel und Zweck meiner Umfrage war es nicht, eine möglichst repräsentative und valide Umfrage zu lancieren, sondern vielmehr, möglichst viele Gegebenheiten, Meinungen und

aktuelle Problematiken von Fachleuten explorativ zu erfassen. Entsprechend wurden ausschließlich offene Fragen gestellt. An den Antworten der offenen Fragen sah ich, wie sich jemand mit dem Thema beschäftigt hatte und konnte so durchdachte Antworten von „unbrauchbaren“ unterscheiden. Folgende Fragen wurden gestellt:

1) Gibt es ein System im Cockpit (Computer, Interface, Instrument, etc.), das Ihnen in der Ausbildung besonders Mühe bereitet hat, respektive besonders schwierig zu lernen war?

Die Antworten waren sehr vielseitig und die Meinungen geteilt: Das System, das am meisten Mühe bereitet, ist das FMS\*, gefolgt von Navigationsinstrumenten, der gesamte Elektrik, der Bedienung des Autopiloten und dem Verstehen von Systemzusammenhängen. Mühe bereiteten einigen auch das GPS\*. Mehrere Personen (darunter einige Airbus A320-Piloten) antworteten, sie hätten während ihrer Ausbildung keine besondere Mühe mit einem System gehabt.

2) Gibt es ein System, bei dessen Bedienung Ihnen zu Beginn wiederholt Fehler unterliefen, die sie korrigieren mussten? Gibt es Systeme bei denen Ihnen heute wiederholt Fehler unterlaufen, die Sie korrigieren müssen?

Die Mehrheit der Befragten beantwortete diese Frage mit „nein“. Von den übrigen wurde am häufigsten wiederum das FMS\* genannt: Schwierigkeiten bereitet insbesondere das Finden bestimmter Display-Seiten. Erwähnt wurden zudem die Autopilot-Elektronik und das VOR\*. Offen bleibt die Frage, ob alle dazu stehen würden, dass ihnen überhaupt Fehler unterlaufen.

3) Gibt es Situationen bei Ihrer Arbeit, in denen sie sich wünschen, von einem System (besser) unterstützt zu werden? Wenn ja, in welchen Situationen und in welcher Weise müsste ein derartiges System funktionieren?

Auch hier waren die Antworten sehr vielfältig. Genannt wurde die Überladung des FMS\*: 10 statt 2 Fixseiten wären erwünscht; eine Vergrößerung der FMS-Displays wurde vorgeschlagen. In Airbus-Flugzeugen befinde sich eher zuviel Automatik als zu wenig: noch mehr Support würde dazu führen, dass man nach einem Ausfall aus dem System den Wiedereinstieg nur noch schwer findet. Mehrere Antworten bezogen sich auf ein System, das die Umgebung virtuell darstellen könnte. Erwünscht ist zudem ein Radar, das Verkehr und Gewitterzellen erfasst und anzeigt.

Ein Pilot mit 20jähriger Berufserfahrung wünscht sich auf einem Multifunktionsdisplay\* ein System, das anzeigt, worauf der Pilot sich konzentrieren muss. Damit würden sich die wichtigsten Informationen, die sich am stärksten verändern, ähnlich wie auf dem Master Caution\* Panel mit Farben bemerkbar machen, ohne dass diese Informationen vom Piloten mit den normalen Eye-Scans erkannt werden müssten.

Verkehrsflugzeuge seien mit Systemen ausgerüstet, die viel Verständnis brauchen (z.B. TCAS\*). Diese komplexen Systeme werden auch in Privatflugzeugen eingebaut, womit Hobby-Piloten nur schwer umgehen können und durch hohe Arbeitsbelastung überfordert werden. Generell sollte jedes Flugzeug mit Glascockpittechnologie ausgestattet sein, auch Kleinflugzeuge. Problem sei öfters, dass Verkehrsmaschinen die Höhe von Kleinflugzeugen nicht ablesen können, weil diese nicht über die dazu notwendigen Systeme verfügen, oder diese nicht bedienen können.

Des Weiteren wurde eine Hilfe beim Rollen am Boden im Nebel erwähnt. Gewünscht ist ein System, das den Verkehr und die Rollerlaubnis grafisch darstellt.

#### 4) Welche Erneuerungen sollten zukünftige Cockpits beinhalten?

Die meisten Befragten erwähnten, zukünftige Cockpits sollen eine synthetische 3-D-Sicht haben, die dem Piloten über ein Head-up-Display\* aufgeschaltet wird. Head-Up-Technologie und grafische Displays sollen Gelände darstellen und bei Anflügen helfen.

Ein weiterer Wunsch sind leisere und ergonomischere Cockpits, da Lärm manchmal ein echter Stressfaktor sei. Erwähnt wurden zudem unbefriedigende klimatische Bedingungen. Erwünscht sind papierlose Cockpits sowie Moving-Map, d.h. ein Flachdisplay, wo Navigationskarten, Frequenzen, Infos zu Flughäfen, weitere Informationen und meteorologische Daten abgelesen werden können. Schließlich sind die Verbesserung der Kollisionswarnung, der vermehrte Einbau von Touchscreens, voiceless ATC (siehe Kapitel 4.3.1) und eine Rollführung auf Flughäfen durch GPS\* ein Thema. Verbesserungswünsche werden hauptsächlich für das FMS\*, vorab das Interface genannt. Die Benennungen in den Cockpits sollten in großen Fliegern wie Boeing und Airbus unmissverständlich angeglichen werden. Sidesticks\*, wie sie Airbus verwendet, sind von manchen Piloten erwünscht, von anderen nicht.

5) Bei der Bedienung welches Systems brauchen Sie am meisten Konzentration, respektive welches System halten Sie für das am schwierigsten zu bedienende? Warum?

Das FMS\* wurde am meisten genannt: in gewissen Flugzeugtypen sei es so kompliziert zu bedienen, dass unbemerkt Fehler gemacht werden, die verheerende Folgen haben können. Ein Pilot fügt an, dass er sicher ist, dass das FMS\* für Unfälle verantwortlich sei (beispielsweise beim Absturz der Boeing B-757 von American Airlines im Jahre 1995 bei Cali, Kolumbien). Ein weiteres schwierig zu bedienendes System sei das GPS\*, weil es viele multifunktionale Tasten hat.

Den Autopiloten zu bedienen sei nicht schwierig, dessen Überwachung brauche aber sehr viel Konzentration. Als weitere Systeme wurden der Navigationscomputer sowie Multifunktionsdisplays\* erwähnt: die Eingabe sollte, statt mit Drehknöpfen, durch eine alphanume-

rische Tastatur erfolgen. Weitere Piloten erwähnten kein spezielles System, sondern die erhöhte Belastung ganz allgemein, die eine besonders hohe Konzentration erfordert.

6) Prognosen besagen, die Luftverkehrsdichte werde sich bis 2020 verdoppeln oder gar verdreifachen. Welche Hoffnungen, Wünsche und Befürchtungen haben Sie für die Zukunft? Auffallend ist, dass die Liste der Befürchtungen etwa doppelt so lang ist wie die der Hoffnungen. Befürchtet werden vor allem die Tendenz und Gefahren einer zu hohen Automatisierung, Unfallgefahr durch die höhere Luftverkehrsdichte, eine weitere Handlungseinschränkung des Piloten bis hin zum Single- oder Non-Pilot-Cockpit, vermehrte Staus an Flughäfen, Verspätungen, knappere Slots\* und damit ein erhöhter Stresslevel der Piloten, Zusammenbrüche von Flugsicherung und Leitsystemen erwartet, die Verminderung von Abständen zwischen den Flugzeugen in der Luft mit daraus resultierenden vermehrten so genannte Traffic-Alerts. Generell haben die Piloten die Befürchtung, dass sie mehr Aufgaben der Fluglotsen übernehmen müssen, was sich auch auf die Arbeitsbelastung im Cockpit negativ auswirken würde.

Die begrenzte menschliche Kapazität wird als Problemursache angesehen. Der Mensch sei nur noch Überwachungsfunktion und auch diese Funktion werde ein zukünftiges System möglicherweise zuverlässiger erledigen als der Mensch. Ein Befragter meinte gar, dass ohne Pilot eventuell eine höhere Sicherheit erreicht würde.

Als Wünsche nennen die Piloten, dass Systeme ihre Arbeit noch besser unterstützen, dass Designs von Interfaces frei wählbar sind, und dass es ein Umdenken bezüglich der Luftraumstruktur gibt.

7) Die Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wird wegen der zunehmenden Automatisierung immer wichtiger. Wie schätzen Sie das Vorhandensein der Mensch-Maschine-Interaktion in gegenwärtigen Cockpits ein?

Auffallend ist, dass die Meinungen generell und bezüglich der Integration der Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit sehr unterschiedlich ausfallen: die einen sind mit den Systemen sehr zufrieden, während andere viele Systeme kritisieren und Handlungsbedarf sehen (wie beispielsweise beim oft genannten FMS\*). In Verkehrsflugzeugen sei die MMI fast ideal umgesetzt; in der General Aviation (zivile, private Luftfahrt, mit Ausnahme der international operierenden Luftfahrtunternehmen) hingegen miserabel. Einige weisen darauf hin, dass es durch die Automatisierung schwieriger werde, bei Verlust von System-Bewusstsein wieder ins System zurückzufinden. Oft würden zudem Ingenieur-Lösungen implementiert, die nicht praxistauglich sind. Was sich in der Vergangenheit bewährt hat, werde weiterverwendet, statt gänzlich neue Ideen umzusetzen. Teilweise wird die Integration der MMI im Cockpit als „verbesserungswürdig“ bezeichnet; Verbesserungen sollten jedoch nicht allein von Ingenieu-

---

ren, sondern zusammen mit Piloten entwickelt werden - erwähnt wird allerdings, dass mögliche Verbesserungen aus Kostengründen nicht umgesetzt würden. Ein Pilot wünscht sich mehr Benutzerfreundlichkeit: Das Ablesen von nicht-analogen Systemen sei generell schwieriger als von analogen – ein Pilot mit etwa 20jähriger Erfahrung schreibt, dass er im Zustand der Informationsüberflutung auch schon auf analoge Anzeigen zurückgegriffen habe und es anderen Piloten sicher ähnlich ergangen sei.

Während der Fokus früher zu sehr auf die Maschine gerichtet und der Mensch als Roboter gesehen worden sei (ein Pilot stellt gar die Frage, ob der Mensch im Cockpit irgendwann zu einem Risikofaktor werden könnte), würden Entwickler heute menschliche Schwächen zunehmend berücksichtigen und nicht mehr einfach davon ausgehen, dass eine fehlerfreie Bedienung vorausgesetzt werden kann.

Die Umfrage zeigt, dass die Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit Fragen offen lässt und es offenbar Verbesserungspotential gibt. Weil das vollautomatische Passagierflugzeug in den nächsten 20 bis 30 Jahren noch kaum realisiert werden wird und entsprechend der Mensch die letzte Verantwortung für das Flugzeug trägt, müssen Systeme weiterhin verbessert und auf die Stärken und Schwächen des Menschen angepasst werden.



## 5. Diskussion und Ausblick

Während meiner Recherche zum Forschungsstand der MMI im Cockpitdesign, habe ich bemerkt, wie umfangreich das Thema und die entsprechende Literatur ist. Aufgrund dieser Tatsache ist mir klar geworden, dass meine Arbeit wohl weniger den gegenwärtigen Forschungsstand umfassend abbilden kann, sondern eher die Rolle der MMI-Forschung im Cockpit allgemein behandelt.

Die durchgeführte Umfrage hat gezeigt, dass Piloten zum Teil Schwierigkeiten haben, das FMS\* und die Navigationsinstrumente vollumfänglich zu verstehen und fehlerfrei zu bedienen. Diese Tatsache wirft einige Fragen auf, weil das FMS\* mit seiner Verbindung zur Navigation\*, Flugsteuerung, Autopilot, Start- und Anflugberechnung, Flugprofil- und Treibstoffmanagement, ein sehr zentrales und wichtiges System darstellt. Das vermehrte Verkehrsaufkommen wird diese Problematik noch verschärfen. Nicht verwunderlich ist daher der pilotenseitige Wunsch der Übersichtlichkeit angezeigter Informationen – auf den Displays oder in synthetischen Sichtsystemen. Ein erfahrener Business-Pilot berichtete, dass jeder Pilot zwar die Grundfunktionen beherrsche, die Vielfalt von Fehlermeldungen jedoch so enorm groß sei, dass ein Pilot während seiner Ausbildung (und auch lange Zeit danach) niemals alle möglichen Meldung schon einmal gesehen haben kann. Des Öfteren würden Fehlermeldungen ignoriert und ausgeschaltet, weil sie der Pilot nicht zuordnen oder beheben könne. Auch dies ist ein kritischer Punkt, dem in Zukunft Beachtung geschenkt werden muss.

Es stellt sich die Frage, ob die Kategorien für menschliche Fehler neu definiert werden müssen. Wie die zunehmende Bedeutung der Kategorie H3 zeigt, müsste geprüft werden, ob fehlende Erfahrungen und Inkompetenzen nicht besser von MMI-Problemen getrennt betrachtet werden sollten.

In den beiden folgenden, abschließenden Kapiteln werde ich versuchen, den gegenwärtigen Stand sowie Aspekte der Weiterentwicklung der MMI im Cockpitdesign zu beschreiben – ersteres anhand des neuen Airbus A380, das zweite hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen in der Luftfahrt allgemein.

### 5.1. Airbus A380 – neuste Flugzeuggeneration: Mit Maus und Cursor durchs Luftmeer

Laut Berendsen (2003) wollte Airbus bei der Entwicklung des A-380-Cockpit an der Fly-by-Wire- und an der Glascockpit-Philosophie nichts ändern, aber dennoch ein zeitgemäßes und zukunftsweisendes Cockpit schaffen. Indem die Fly-by-Wire-Technologie die Steuersignale des Piloten nicht mehr mechanisch sondern elektronisch an die Steuerelemente überträgt, wird es möglich, dass ein Computer die Steuersignale überprüft. Dadurch können über verschiede-

ne Airbus-Flugzeugtypen die für den Piloten spürbaren Flugeigenschaften ausgeglichen werden, wodurch es einfacher wird, sich rasch an ein anderes Airbus-Flugzeugmodell zu gewöhnen. Bei der Entwicklung des A380 wurde Wert darauf gelegt, für alle Airbus-Flugzeuge einheitliche Anzeigen und Verfahren zu verwenden, um den Trainingsaufwand bei der Umschulung auf andere Airbus-Modelle gering zu halten und die Besatzungen in verschiedenen Flugzeugen einsetzen zu können.

Das 4,4 m<sup>2</sup> große Cockpit bietet Platz für fünf Personen. Die Piloten sitzen vor acht überdimensionierten Bildschirmen. Eine erste Erneuerung sind *Anzeigen von Taxikameras* fürs Rollen am Boden (im PFD\*). Eine weitere neu entwickelte Anzeige (im Navigations Display, ND)\*, zeigt im Vertikalschnitt ein Höhenprofil, Terrain-Informationen und Gewitterechos des Wetterraders an; davon verspricht sich Airbus eine erhöhte Sicherheit. Heutige FMS-Bildschirme werden durch das *Multi Function Displays (MFD)*\* ersetzt, das ein interaktives Betätigungsfeld für die Steuerung des Flugzeugs mit Maus und Cursor bietet. Beim Ausfall bestimmter Systeme, beispielsweise des Autopiloten, übernimmt das *Multi Function Display*\* dessen Funktionen in grafischer Darstellung. In einem Teil des *System Display (SD)* befindet sich die ATC-Mailbox, die unter anderem Nachrichten der Flugsicherung anzeigt. Der schon in früheren Modellen der Airbus-Flugzeuge integrierte Klapp Tisch, hat neu eine Tastatur integriert, womit unter anderem ein System (Onboard Information System - OIS) bedient wird, das den Zugriff auf Handbücher, Anflugkarten und sonstige Borddokumentationen herstellt und nun alle Bücher und Papiere ersetzt. Mit Keyboard und Cursor können auch diverse andere Anzeigen (NDs, MFDs und SDs)\* gesteuert werden. Die Hand findet auch bei turbulentem Wetter auf einem ergonomisch geformten, so genannten ‚Palmrest‘ Halt. Der Cursor wird anhand eines Trackballs gesteuert und Eingaben werden mit einer Validations-Taste bestätigt. In erster Linie werden Keyboard und Cursor genutzt, um einen programmierten Flugweg zu ändern. Um das Rollen am Boden sicherer zu gestalten, verfügt der A-380 als erstes Flugzeug über eine aufschaltbare Flughafenkarte (Berendsen, 2003): Dadurch wird es erstmals möglich, eine Route am Boden (z.B. vom Gate zur Rollbahn) aufzuzeichnen und präzise Warnungen auszugeben, wenn die Flugzeugführer Gefahr laufen, ohne Erlaubnis eine Rollbahn zu überfahren (Klingauf & Vernaleken, 2005). Bisherige Laptops, um Flugpläne und weitere Daten ins Flugzeugsystem einzuspeisen, wurden überflüssig (Berendsen, 2003).

Die neu entwickelten Systeme führen möglicherweise zu einer Verbesserung der Sicherheit, jedoch muss laut Berendson (2003) auch mit einem vergrößerten Lernprozess gerechnet werden.

## 5.2. Die Zukunft der Luftfahrt und die Weiterentwicklung der MMI im Cockpitdesign

Weil in Zukunft der Luftverkehr immer mehr zunehmen wird, müssen neue Air Traffic Management-Konzepte entwickelt werden (Knorr, 1998). Flugpläne müssen Monate im Voraus angefertigt und nur noch kleine Änderungen vorgenommen werden (Tiemann & Borys, 1995). Wegen der immer größer werdenden Anzahl von Flugzeugen in der Luft, werden Piloten miteinander kommunizieren und einen Teil der Radarkontrolle, die heute noch gänzlich über die Flugführung verläuft, übernehmen müssen. Somit werden Piloten auch in Zukunft neue Aufgaben übernehmen (Knorr, 1998). Data-Link wird den bisherigen Sprechfunk praktisch vollständig ablösen. Der Wegfall des Party-Line-Effekts und die damit verbundene zusätzliche visuelle Belastung bedeuten eine erhöhte Inanspruchnahme der Piloten (Müller, 1999). Ein Streitpunkt zwischen Piloten und Ingenieuren ist der pilotenseitige Wunsch, jederzeit ins System eingreifen zu können, was von den Ingenieuren insofern als problematisch erachtet wird, als es der Pilot zum Teil versäumt, sich vor einer Handlung über den Status der automatischen Steuerung zu informieren. Eingriffe ins automatische System ohne vorausgehende genügende Überprüfung haben tatsächlich auch schon zu Störfällen geführt (Kruse, 1995).

Laut Klingauf und Vernaleken (2005) wird die Automatisierung des Fliegens immer weiter voranschreiten. Das Einmann-Cockpit ist in nicht allzu weiter Ferne und auch das völlig autonome Flugzeug ist keine Utopie mehr. Dies zeigt die boomende Industrie der „Unmanned Aerial Vehicles“ (unbemannte Flugzeuge) in der militärischen Luftfahrt. Zurzeit finden Abklärungen bezüglich der Finanzierung von 525 Millionen Euro für das „Innovative Future Air Transport System“-Projekt statt. Dabei handelt es sich um die Umsetzung eines cockpitlosen Passagierflugzeugs, das nur noch von Computern gesteuert wird. Mit dem computergesteuerten Flugzeug würden menschliche Piloten-Fehler eliminiert – unklar ist und bleibt jedoch, wie viele Unfälle bisher verhindert werden konnten, indem Piloten Computerfehler erkannten und korrigieren konnten. Eine Realisierung wird erst in circa 20 bis 30 Jahren möglich sein, da der Datenaustausch zwischen Satelliten, Bodenstationen und Bordgeräten noch verbessert werden muss. Zur Umsetzung würde sich vorab der Frachtverkehr eignen; ob Passagiere diese neue Technik akzeptieren würden, ist zweifelhaft. Die öffentliche Meinung dazu wird derzeit erhoben (List, 2007); Resultate werden für Sommer 2007 erwartet. Der aktuelle Stand der Umfrage bis zum 11.5.2007 zeigt, dass sich 33% der bisher 503 Befragten niemals in ein ausschließlich computergesteuertes Flugzeug setzen würden, 20% keine Bedenken hätten und 48% nur unter der Bedingung mitfliegen würden, dass ein Pilot den Computer an Bord überwacht.

---

In der Luft kann das vermehrte Verkehrsaufkommen dadurch kompensiert werden, dass die Höhenstaffelung der Flugzeuge reduziert wird. Kleinere Abstände zwischen den Flugzeugen sind durch präzise Instrumente durchaus möglich. Ebenso können weitere Luftstrassen definiert werden. Problem und Nadelöhr werden mit zunehmendem Verkehr jedoch die Flughäfen, deren Ausbau teuer und aufwendig ist (Airbus, 2004). Die vorhandene Infrastruktur wird verstärkt genutzt, was zu einem erhöhten Risiko für Unfälle auf und um den Flughafen führt. Damit wird es zwingend notwendig, ausgefeilte Rollenführungssysteme mit entsprechenden Warnfunktionen zur effizienten Lenkung des Verkehrs auf dem Flughafen einzusetzen. Eine digitale Flughafenkarte, wie sie erstmals im A-380 eingebaut wurde, wird für alle zukünftigen Cockpits relevant sein (Klingauf & Vernaleken, 2005).

Schon 1994 weist Heldt darauf hin, dass in zukünftigen Generationen von Glascockpits die Erfahrungen im Sinne eines Human-Centered-Designs für Neuentwicklungen genutzt werden müssen. Johannsen (1990) zeigt, dass Schwachpunkte im Cockpit-Design auf einen Entwicklungsprozess zurückgehen, der bausteinartig neue Funktionen hinzufügt, ohne diese genügend anzupassen. Die Automatisierung muss künftig nicht primär technische Möglichkeiten fokussieren, sondern verstärkt von den Fähigkeiten und Bedürfnissen des Menschen ausgehen (Reifenberg, 2003). Entsprechend werden Pilotentrainings künftig noch wichtiger, als sie eh schon sind.

Während die Zahl der Flugbewegungen kontinuierlich ansteigt, muss laut Klingauf und Vernaleken (2005) die Zahl der Flugunfälle unbedingt weiter reduziert werden. Um dieses Ziel in Zukunft erreichen zu können, muss in allererster Linie die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Cockpit verbessert werden. Neuartige Cockpitdisplays sollen dem Piloten in allen Situationen intuitiv das optimale Situationsbewusstsein zu allen Zeitpunkten des Fluges ermöglichen.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei Javier Bargas-Avila bedanken. Bei der Themenauswahl hat er mir viel Freiraum gelassen und mich während der Arbeit stets kompetent unterstützt.

---

## Literatur

- Airbus. (2004). *Global Market Forecast 2004-2023*.
- Banks, S., & Lizza, C., (1991). Pilot's Associate: a cooperative, knowledge-based system application. *IEEE expert*, 6, 18-29.
- Bartsch, H. (2004). *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen*. Stuttgart: Gentner Verlag Stuttgart.
- Bartsch, H. (2005). Flugsicherheit aus arbeitswissenschaftlicher Sicht. In *'Querschnitte' fachübergreifender Lehre und Forschung an der BTU Cottbus* (pp. 129-161). Frankfurt, London: IKO - Verlag für Interkulturelle Kommunikation.
- Below, C., von Viebahn, H., & Hammer, M. (1995). 4D flight guidance displays: an approach to flight safety enhancement, Synthetic Vision for Vehicle Guidance and Control, *Proc. SPIE*, 2463, 137-145.
- Berendsen, J. P. (2003). Mit Maus und Cursor durch das Luftmeer. *Aero 12*, 22-25.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Boeing Commercial Airplane Group. (2005). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2004*. Seattle.
- Brainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19, 775-779.
- Braune, R. J. (1994). Automation on Commercial Transport Airplanes: Consequences for Information Management. In Becker & Preuß (Hrsg.), *Leitwarten. 3. Internationaler Workshop* (pp.35-48). Rheinland: TÜV.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Florence, Kentucky: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chuh, P. (2006). Thema: GOMS. Retrieved 23.3.2007, from [http://www.medien.ifi.lmu.de/fileadmin/mimuc/mmi\\_ws0506/essays/uebung2-chuh.html](http://www.medien.ifi.lmu.de/fileadmin/mimuc/mmi_ws0506/essays/uebung2-chuh.html)
- Degani, A. (1996). *Modeling Human-Maschine Systems: On Modes, Error, and Patterns of Interaction*. Unpublished PhD Thesis. Georgia Institute of Technology, Georgia, USA.
- Douglas, P., Arbuckle, P., Abbott, K., Abbott, T., & Schutte, P. (1998). *Future Flight Decks*. NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA. Präsentiert am 21. Kongress der International Council of the Aeronautical Sciences. Paper-Nr. 98-1.9.3. Melbourne, Australien.
- Eldredge, D., Mangold, S., & Dodd, R. S. (1992). *A review and discussion of flight management system incidents reported to the aviation safety reporting system*. Washington, DC: Federal Aviation Administration, Research and Development Service.
- Faber, G. (1994). Pilotenausbildung an Hochschulen. *Gutachten für die Vereinigung Cockpit*.

---

Frankfurt/Main.

- Frey, D. & Schulz-Hardt, S. (1997). Eine Theorie der gelernten Sorglosigkeit. In H., Mandl (Hrsg.), *Bericht über den 40. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (604-611). Göttingen: Hogrefe.
- Funk, K., Lyall, B., Wilson, J., Vint, V., Niemczyk, M., Suroteguh, C., & Owen, G. (1999). Flight Deck Automation Issues. *International Journal of Aviation Psychology*, 9(2), 109-123.
- Groß, H. (2005). *Luftfahrt-Wissen. Von den Grundlagen bis zur Pilotenlizenz*. Stuttgart: Motorbuch Verlag.
- Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Handcock & Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (139-183). Amsterdam: North-Holland.
- Heldt, P. H. (1994). Erfahrungen bei der Umschulung auf "GlassCockpits". In Becker & Preuß (Hrsg.), *Leitwarten. 3. Internat. Workshop* (129-148). Rheinland: TÜV Rheinland.
- Helleberg, J. R., & Wickens, C. D. (2003). Effects of Data-Link Modality and Display Redundancy on Pilot Performance: An Attentional Perspective. *International Journal of Aviation Psychology*, 13(3), 189-210.
- Hüttig, G. (1997). *Untersuchung der Arbeitssituation im Cockpit moderner Verkehrsflugzeugen bei Einführung neuer Informationsverarbeitungs- und Darstellungsmöglichkeiten*. Abschlussbericht. Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland.
- imcat.com, (n.d.). [WWW Dokument] Retrieved 12.5.2007, from [http://www.imcat.com/images/cockpit\\_views/D\\_B727\\_0569.jpg](http://www.imcat.com/images/cockpit_views/D_B727_0569.jpg)
- Irving, S., Polson, P., & Irving, J. E. (1994). A GOMS Analysis of the Advanced Automated Cockpit. *Conference on Human Factors in Computing Systems* (344-350). Boston, Massachusetts USA: ACM Press.
- Johannsen, G. (1990). Fahrzeugführung. In B., Zimolong & U., Konradt (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Praxisgebiete Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 2 Ingenieurpsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Johannsen, G. (1993). Fahrzeugführung / Überwachung von Verkehrskontroll- und Datenkommunikationssystemen. In G., Johannsen (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systeme* (75-85). Berlin: Springer.
- John, B. E., & Kieras, D. E. (1994). *The GOMS Family of Analysis Techniques: Tools for Design and Evaluation*. Pittsburgh: School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- Klingauf, U., & Vernaleken, C. (2005). Durchblick – Synthetische Sicht für das Cockpit der Zukunft. *Thema Forschung* 58(3), 58-61.
- Knorr, W. (1998). Zur Frage der Benutzerschnittstelle zwischen Besatzung und Maschine in Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge - Anforderungen und Grenzen der Automation.

- 
- In H.-P., Willumeit & H., Kolrep (Hrsg.), *Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch-Maschine-Systemen* (83-92).
- Kruse, H. (1995). Verlässlichkeit Mensch-Maschine-System in der Luftfahrt. In H.-P., Willumeit & H., Kolrep (Hrsg.), *Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen* (219-230). Sinzheim: Pro Universitate.
- Levenson, N. G., Pinnell, L. D., Sandys, S. D., Koga, S., & Reese, J. D. (1997). Analysis Software Specifications for Mode Confusion Potential. In C.W., Johnson (Hrsg.), *Proceedings of the Workshop on Human Error and System Development* (132-146). Accident Analysis Group, Glasgow.
- List F. (2007). *Fliegen wie von Geisterhand*. Retrieved 11.5.2007 from <http://motormarkt-content.sueddeutsche.de/automobil/artikel/933/105828/luftfahrt.ch>, (n.d.). [WWW Dokument] Retrieved 12.5.2007, from <http://www.luftfahrt.ch/images/air04tanker2.jpg>
- Lüdtke, A., & Möbus, C. (2001). Prognose von Bedienungsfehlern durch Routinebildung in teilautonomen Systemen: Konzept und empirische Untersuchung. In R. Marzi & V. Karavezyris (Hrsg.), *Bedienen und Verstehen: 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme 2001* (164-184). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Lüdtke, A., & Möbus, C. (2002). *Prognose von Bedienungsfehlern durch Simulation der Entstehung gelernter Sorglosigkeit bei der Pilot-Cockpit Interaktion*. Präsentiert an der 44. Fachausschusssitzung Anthropotechnik. Situation Awareness in der Fahrzeug- und Prozessführung. Langen, Deutschland.
- membres.lycos.fr, (n.d.) [WWW Dokument] Retrieved 12.5.2007, from <http://membres.lycos.fr/avya87/747e.jpg>
- Miller, C. A., & Hannen, M.D. (1999). The Rotorcraft Pilot's Associate: design and evaluation of an intelligent user interface for cockpit information management. *Knowledge-based systems*, 12(8), 443-456.
- Müller, T. (1999). Bewertung eines kooperativen ATM-Konzepts in Simulatorstudien. In Timpe, Willumeit, Kolrep (Hrsg.), *Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen* (115-135). Technische Universität, Berlin.
- Onken, R. (1996). Situationsabhängig veränderliche Funktionsverteilung zwischen Mensch und Maschine im Cockpit durch ein intelligentes Unterstützungssystem. In H.-J. Rothe & H. Kolrep (Hrsg.), *Psychologische Erkenntnisse und Methoden als Grundlage für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen* (39-54). Berlin: ZMMS.
- Onken, R. (1998). Assistenzsysteme in Straßen-, Schienen- und Luftverkehr. In H.-P., Willumeit & H., Kolrep (Hrsg.), *Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch-Maschine-Systemen* (312-319). Berlin: ZMMS.



- 
- Onken, R., (1999, Oktober). *The Cognitive Cockpit Assistant Systems CASSY/CAMA*. Präsentiert am World Aviation Congress. San Francisco, USA.
- Reifenberg, N. (2003). *Cockpit-Gestaltung und Automatisierung*. Retrieved 12.1.2007 from [http://www3.psychologie.hu-berlin.de/ingpsy/alte%20Verzeichnisse%20-%20Arb1/Lehrveranst/semnar/psych\\_technik/cockpit2003/cockpit/cockpit.htm](http://www3.psychologie.hu-berlin.de/ingpsy/alte%20Verzeichnisse%20-%20Arb1/Lehrveranst/semnar/psych_technik/cockpit2003/cockpit/cockpit.htm)
- Sarter, N. D., Woods, D. D., & Billings, C. E. (1997). Automation Surprises. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors/Ergonomics (1926-1943)*. New York: Wiley.
- Tiemann, M., & Borys, B.-B. (1995). Verringerung der Belastung von Piloten durch veränderte Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen (139-153)*. Berlin: ZMMS.
- vcockpit.de, (n.d.). [WWW Dokument] Retrieved 28.4.2007, from [www.vcockpit.de/flugfaq.php](http://www.vcockpit.de/flugfaq.php)
- Vernaleken, C., von Eckartsberg, A., Mihalic, L., Jirsch, M., Langner, B., & Klingauf, U. (2005). *The European research project ISAWARE II: a more intuitive flightdeck for future airliners*. Bellingham: SPIE.
- wikipedia.org, (n.d.). [WWW Dokument] Retrieved 23.3.2007 from <http://de.wikipedia.org/>
- Woods, D. D., & Roth., E. M. (1988). Cognitive Engineering: Human Problem Solving with Tools. *Human Factors*, 30(4), 415-430.

---

## Glossar

Die Begriffserklärungen stammen aus Wikipedia (wikipedia.org, 2007) oder aus Groß (2005).

**CDU/MCDU:** Die Control and Display Unit (CDU) oder auch Multifunctional Control and Display Unit (MCDU) ist das Eingabegerät für das Flight Management System (FMS) und anderer Computersysteme wie dem Wartungscomputer moderner Verkehrsflugzeuge. Sie besteht aus einem Bildschirm und einer alphanumerischen Tastatur. Anhand der Eingabe von Daten wie beispielsweise Zielflughafen, Flugroute, Reisegeschwindigkeit, Gewicht, etc. werden wichtige Berechnungen (beispielsweise Startgeschwindigkeit) durchgeführt. Während des Fluges wird die CDU zur Eingabe von Veränderungen der Route, Anflugverfahren und zur Kontrolle des FMS genutzt.

**EFIS:** Ist die Abkürzung für Electronic Flight Instrument System (Elektronisches Fluginformationssystem) und bezeichnet eine Gruppe von konfigurierbaren Multifunktions-Displays (MFD) im Cockpit eines Flugzeugs, auf denen Flug- und Sensordaten eines Flugzeugs dargestellt werden können. Das EFIS besteht aus Primary Flight Display (PFD), Navigation Display (ND)\* und Display Computer.

**FMS/FMC:** Flight Management Systeme (FMS) respektive Flight Management Computer (FMC) sind elektronische Hilfsmittel für die Flugsteuerung und Flugnavigation. Die Eingaben erfolgen über das CDU oder MCDU. FMS machen die laterale Navigation genauer, bieten optimierte vertikale Profile und erhöhen die Übersicht der Piloten durch Kartendarstellungen auf den MFD des elektronischen Fluginformationssystems EFIS. Die Piloten können damit auch während des Fluges Planungen und Optimierungen durchführen. Moderne Flight Management Systeme verbinden die Navigation\* mit der Flugsteuerung und dem Autopiloten.

**GPS:** Global Positioning System, auch Globales Positionsbestimmungssystem (GPS) ist jedes satellitengestützte Navigationssystem.

**Head-Up-Display:** Das Head-Up-Display ist ein Anzeigesystem, bei dem die für den Piloten wichtigen Informationen in sein Sichtfeld projiziert werden. Das HUD zeigt Informationen aus einer ganzen Reihe von Quellen an, wie etwa Avionik, oder Radar, alles in kompakter, überschaubarer Form. Für das Head-Up-Display hat der Pilot eine Auswahl von verschiedenen Modi zu Verfügung, die er Abhängig vom jeweiligen Auftrag oder dem Stand seiner Mission wählen kann. Jeder Modus unterstützt den Piloten bei einer ganz bestimmten Aufgabe, sei es z.B. bei der Navigation oder beim Landeanflug.

---

**Lenkung:** Unter Lenkung wird das Halten einer Höhe und eines Kurses verstanden.

**Master Caution:** Hauptwarnlampe, die den Piloten dann veranlasst zu suchen, welche konkrete Warnlampe angegangen ist. Er bestätigt den Eingang der Warnung, indem er auf die Lampe drückt und sie so ausschaltet. Die Master Caution-Lampe ist gelb, daneben die Master Warning-Lampe ist rot und zusätzlich mit einem Warnton gekoppelt.

**MCDU:** siehe CDU/MCDU.

**MFD/Multifunktionsdisplay:** siehe CDU/MCDU.

**Navigation:** Die Navigation ist die Bestimmung der geografischen Position, die Berechnung des optimalen Weges zum Ziel und das Führen des Flugzeugs zu diesem hin.

**ND:** Auf dem Navigationsdisplay (ND) werden die Navigationsdaten angezeigt: Der Steuerkurs, die Funkfeuer VOR (oder ADF), die Flugroute aus dem Flight Management System, Verkehrsinformationen vom TCAS und das Bild des Wetterradars. Auch hier sind weitere Anzeigen vom Modell abhängig.

**PFD:** Auf dem Primary Flight Display (PFD) werden den Piloten die wichtigsten Flugdaten angezeigt: Die Lage im Raum (Künstlicher Horizont) mit dem Flight Director, die Flugeschwindigkeit, die Flughöhe und die Steig- oder Sinkrate. Ebenfalls können hier die Betriebsarten des Autopiloten abgelesen werden. Weitere Anzeigen kommen je nach Modell hinzu.

**Sidestick:** Der Begriff Sidestick (Seitenknüppel) bezeichnet einen joystick-ähnlichen Steuerknüppel, der das konventionelle Steuerhorn bzw. die Steuersäule eines Luftfahrzeuges ersetzt. Im Gegensatz zum Steuerhorn, das vor dem Piloten positioniert ist, befindet sich der Sidestick neben dem Piloten. Er wird nur mit einer Hand bedient.

**Slot:** Ein Slot bezeichnet in der Luftfahrt ein Zeitfenster, während dessen eine Fluggesellschaft einen Flughafen zum Starten oder Landen eines Flugzeugs benutzen kann. Die Anzahl der verfügbaren Slots ist abhängig von der Kapazität eines Flughafens.

**Stabilität/Stabilisierung:** Das Flugzeug befindet sich in einem stabilen Zustand, wenn es nach einem Impuls, z.B. bei einer versehentlichen Berührung der Steuerorgane, wieder in die ursprüngliche Fluglage zurückkehrt.

**TCAS:** Das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) ist ein Kollisionswarnsystem in der Luftfahrt. Die ICAO- und europäische Bezeichnung lautet Airborne Collision Avoidance System (ACAS).

**VOR:** Das UKW-Drehfunkfeuer (VOR) dient der Funknavigation für Luftfahrzeuge. Das eigentliche VOR ist eine Bodenstation, deren Signal vom VOR-Empfänger im Flugzeug ausgewertet und als Richtungsinformation auf einem Anzeigengerät abgelesen werden kann.