

# MENSCHZENTRIERTE ANZEIGENGESTALTUNG IM COCKPIT

V. Schumacher M.Sc., Erster Offizier CRJ 900, Vereinigung Cockpit e.V., Arbeitsgruppe  
Konstruktion und Flugbetrieb, Unterschweinstiege 10, 60549 Frankfurt, Deutschland

## Zusammenfassung

Instrumente im Cockpit sind für die Flugbesatzung die wichtigsten Informationsquellen über Fluglage, Energiestatus und Systemzustände des Flugzeuges und somit die Grundlage zum Aufbau des Situationsbewusstseins. Dieses ist elementar für die sichere Flugdurchführung und zeichnet sich durch die Wahrnehmung aller relevanten Informationen, das Verständnis der momentanen Situation und der Antizipation des zukünftigen Status aus.<sup>1</sup> So fordert zum Beispiel die Federal Aviation Administration (FAA) die Sensibilisierung für die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins bei Schnittstellengestaltung zwischen Flugbesatzungen und modernen Cockpitsystemen. Dazu gehört vor allem die Kenntnis über den Energiezustand des Flugzeuges in Verbindung mit dem Modus automatischer Flugsysteme, der Position des Flugzeuges und der Lage des Flugweges im Verhältnis zu Gelände und Verkehr. Zudem muss das Bewusstsein über Ursachen ungewollter Flugzustände vorhanden sein und die Fähigkeit die Flugzeuglage aus diesen zu stabilisieren.<sup>2</sup> Um all diesen Forderungen gerecht zu werden und Piloten damit die Voraussetzungen zu schaffen, ihre Aufgaben erfüllen zu können, muss bei der Weiterentwicklung von Flugzeugcockpits eine menschenzentrierte Anzeigengestaltung stattfinden.

## 1. HISTORIE

Die Ablösung analoger Instrumente durch digitale Anzeigen leitete in den 1980 Jahren die Ära der Glascockpits in Verkehrsflugzeugen ein. Mit Hilfe der neu entwickelten Displays konnten zusätzlich zu den bisher analog abgebildeten Informationen weitere Darstellungen in die Cockpits Einzug erhalten. Dazu gehörte unter anderem das Navigationsdisplay, welches die eigene Flugzeugposition im Verhältnis zu umliegenden Flughäfen, Gelände und in der Nähe befindlichen Flugzeugen anzeigt. Auch der Abruf schematischer Darstellungen einzelner Systemzustände, wie Hydraulik-, Pneumatik- oder Treibstoffsysteme, wurde möglich.

Das Ziel, die Flugsicherheit durch Steigerung des Situationsbewusstseins der Piloten bei gleichzeitiger Verringerung der Arbeitsbelastung zu erhöhen, konnte bei der Implementierung neuer Anzeigensysteme jedoch nicht in allen Fällen umgesetzt werden. Mangelnde Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle führte zum Verlust des Situationsbewusstseins der Piloten und in Folge dessen zu teils verheerenden Unfällen. So zum Beispiel beim Totalverlust der Air Inter 148 (1992)<sup>3</sup>. Während der Programmierung des Autopiloten im Zuge des Anfluges auf den Flughafen Straßburg war der Besatzung nicht bewusst, dass sie anstelle des Flugbahnwinkels von 3,3 Grad eine Vertikalgeschwindigkeit von 3300 ft/min eingestellt hatten. Dies ist maßgeblich auf die damals leicht verwechselbare Anzeige für Sinkgeschwindigkeit und Sinkwinkel zurückzuführen (Bild 1)<sup>4</sup>. Ein Sinkwinkel von 3,3 Grad hätte in etwa in einer Sinkgeschwindigkeit von 800 ft/min resultiert. Zum Zeitpunkt erhöhter Arbeitsbelastung verloren die Piloten den Überblick über den Modus des Autopiloten. Die darauf folgende Kollision mit umliegendem Gelände überlebten nur 9 der 96 Insassen. In Folge des Unfalls wurde die Anzeige von Airbus geändert.



BILD 1. Darstellungsvergleich Flugbahnwinkel vs. Vertikalgeschwindigkeit

Ein weiteres Beispiel für die Auswirkung mangelhafter Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ist der Absturz der Crossair CRJ 498 (2000).<sup>5</sup> Als beitragenden Faktor zum Totalverlust der Maschine nennt der Flugunfallbericht die falsche Interpretation der Fluglageanzeige durch den Kommandanten. Die Flugbesatzung verlor die Kontrolle über das Flugzeug, nachdem dieser die Maschine in eine Steilspirale nach rechts steuerte.

Der Kapitän begann seine fliegerische Karriere in der ehemaligen Sowjetunion. Die dort eingesetzten künstlichen Horizonte unterscheiden sich im Prinzip ihrer Darstellung zu denen westlicher Anzeigen. Beim russischen künstlichen Horizont, der so genannten „outside in“ Darstellung, bewegt sich das Flugzeugsymbol analog zur Querneigung des Flugzeuges entlang eines statischen Horizontes. Bei einer Linkskurve dreht sich das Flugzeugsymbol nach links (Bild 2)<sup>5</sup>. Damit verhält sich die Anzeige konform zum „Principle of Moving Parts“. Dieses Prinzip der Anzeigengestaltung fordert eine Übereinstimmung von bewegtem Element der Anzeige (Flugzeugsymbol) und bewegtem Element des mentalen Modells (Flugzeug) des Anwenders (Pilot)<sup>6</sup>.



BILD 2. Russischer künstlicher Horizont

Nach dem Wechsel zur Crossair flog der Kapitän ein Flugzeug mit einem künstlichen Horizont westlicher Bauart (BILD 3).<sup>5</sup> Die Bewegung des westlichen Horizontes verläuft genau Gegenteilig zu der des russischen Modells. Bei einer Linkskurve dreht die Horizontlinie nach rechts, das Flugzeugmodell ist statisch. Die Anzeige entspricht in diesem Fall der Außendarstellung bei Sichtflugbedingungen („inside out“ Darstellung) und damit dem „Principle of Pictorial Realism“. Dieses Darstellungsprinzip fordert die bildliche Übereinstimmung der Anzeige mit der repräsentierten Information.<sup>6</sup> Beide Prinzipien lassen sich bei der Gestaltung des künstlichen Horizontes jedoch nicht miteinander vereinbaren. In der Regel kommt die „outside in“ Darstellung bei der Konstruktion von Flugzeugen nicht mehr zum Einsatz.

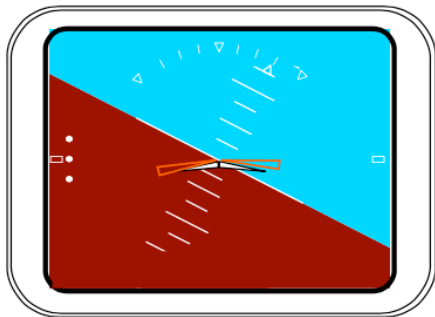


BILD 3. Westlicher künstlicher Horizont

Der Flugunfallbericht des Crossair Absturzes merkt an: „In Russland ist seit der Einführung des Horizonts westlicher Bauart auf einigen Flugzeugtypen [...] die Verwechslungsgefahr beim Interpretieren der Anzeige des künstlichen Horizonts und beim Ablesen der Querneigung bekannt. Mehrere Unfälle wurden dadurch verursacht.“<sup>5</sup> (S. 62) Eine systematische Einführung in das westliche System fand im Laufe Ausbildung des Kapitäns bei der Crossair jedoch nicht statt. Keiner der zehn Insassen überlebte den Absturz.

## 2. AUSBLICK

Mit dem Übergang zu großformatigen Displays wurden die Anzeigen in Glascockpits nur geringfügig erweitert. Der

nächste große Schritt ist aber absehbar: Mit der weiteren Verbreitung von Head-Up Displays (HUD) sowie der kommenden Praxistauglichkeit von Enhanced Flight Vision Systemen (EFVS) und Synthetic Vision Systemen (SVS) kommt der optimalen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Cockpit eine große Bedeutung zu. EFVS erzeugen eine Echtzeitabbildung der externen Umgebung. Die Informationen werden zum Beispiel über thermographische Kameras (Forward-Looking-InfraRed „FLIR“) oder Millimeterwellen Radar (MMWR) bereitgestellt. SVS ist im Gegensatz dazu eine computerbasierte Außendarstellung, die für die Bilderstellung auf eine interne Geländedatenbank in Verbindung mit der Lageinformation des Flugzeuges zurückgreift.

Das NASA Aviation Safety Program führte in Zusammenarbeit mit der FAA im Jahr 2011 Flugtests durch, um Testdaten für die Validierung der Leistungsfähigkeit von Synthetic and Enhanced Vision Systemen (SEVS) zu sammeln.<sup>7</sup> Ziel der Einführung von SEVS ist die „Equivalent Visual Operation“ (EVO). Die derzeitige Betriebssicherheit des Luftverkehrs unter Sichtflugbedingungen soll unabhängig von Wetter- und Sichtverhältnissen im gesamten Flugbetrieb erreicht werden. Eingeschränkte Sichtverhältnisse und reduziertes Situationsbewusstsein werden als vorwiegende Ursachen für Controlled Flights Into Terrain (CFIT) genannt. Bei diesem Unfalltypus kollidieren voll funktionsfähige Flugzeuge mit der Erdoberfläche oder Hindernissen, ohne dass sich die Piloten des bevorstehenden Zusammenstoßes bewusst sind.<sup>8</sup> Boeing nennt CFITs als dritthäufigste Todesursache bei Flugzeugabstürzen in der zivilen Luftfahrt (1959-2015).<sup>9</sup>

Die Zielsetzung der Pilot-zentrierten Untersuchung der NASA war zum einen die Evaluation der operationellen Anwendbarkeit von SEVSs. Zum anderen bestand sie aus der Bestimmung des Beanspruchungsniveaus und der Akzeptanz der Systeme unter den Piloten. Hierzu wurden Instrumentenanflüge mit Hilfe von EFVS auf einem HUD (BILD 4)<sup>7</sup> und SVS auf einem konventionellen Primary Flight Display (PFD) (BILD 5)<sup>7</sup> durchgeführt. Beim Testflugzeug handelte es sich um eine Gulfstream G450. EFVS Anflüge wurden bis zu einer Pistersichtweite (RVR) von 1000ft (ca. 300m) durchgeführt. Die Landebahn musste in 50ft (ca. 15m) oberhalb der Landebahnschwelle entweder mit Hilfe des EFVS oder direkt erkennbar sein. SVS Anflüge wurden bis zu einer RVR von 1400ft (ca. 420m) durchgeführt. In diesem Fall lag die Entscheidungshöhe, bei der die Landebahn ohne Hilfsmittel erkennbar sein musste, bei 150ft (ca. 46m). Im Verlauf der Testreihe wurden 16 Flughäfen angesteuert, sodass insgesamt 101 auswertbare Anflüge unter den angestrebten Wetterbedingungen durchgeführt werden konnten, 74 mit EFVS und 27 mit SVS.

Die Piloten waren in der Lage, alle Anflüge sowohl mit EFVS als auch mit SVS innerhalb der vorausgesetzten Standards durchzuführen. Die Anflüge wurden entweder mit einer sicheren Landung beendet oder einem Durchstartmanöver abgebrochen. Die Entscheidung zum Abbruch war in allen Fällen kriterienkonform (z.B. fehlender Sichtkontakt in Entscheidungshöhe). Beide Systeme wurden von den Piloten als signifikant sicherheitssteigernd im Verhältnis zu Anflügen mit einem konventionellen PFD eingestuft.



BILD 4. Head-Up Display mit Enhanced Flight Vision System



BILD 5. Primary Flight Display mit Synthetic Vision System

Die Beanspruchung wurde im Mittel in beiden Fällen sowohl bei der Landung als auch im Falle des Durchstartens als einfach handhabbar („easily managed“) eingeschätzt. Zum Schluss wird in der Studie angemerkt, dass weitere Forschung notwendig ist, um die Einflüsse der Systeme auf das Crew Resource Management und operationelle Belange zu bestimmen. Zudem wird darauf verwiesen, dass sowohl bei der Sensortechnologie als auch bei der Festlegung von Entscheidungskriterien für die Flugbesatzung zur Nutzung von EFVS Untersuchungsbedarf besteht. Diese Anmerkungen finden sich auch auf einer Liste von Forderungen wieder, welche die Vereinigung Cockpit bei der Implementierung neuer Anzeigen in Flugzeugcockpits als grundlegend erachtet, um Flugunfälle zu vermeiden.

### 3. FORDERUNGEN DER VEREINIGUNG COCKPIT

Bei der Entwicklung neuer Cockpit-Anzeigen ist es für die Flugsicherheit unerlässlich, die menschlichen Fähigkeiten zentral zu berücksichtigen, um die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins der Piloten jederzeit zu ermöglichen. Folgende Punkte sollten dabei Berücksichtigung finden:

- Eine ununterbrochene Darstellung aller für die grundlegende Flugführung benötigter Elemente ist zweifelsfrei zu gewährleisten. Die darüber hinaus dargestellten Informationen dürfen die Kapazität der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit nicht überschreiten. Um eine Überlagerung mehrerer Informationen zu unterbinden, sollte immer die Möglichkeit der Filterung der Informationen mittels einer „Declutter“-Funktion bestehen.
- Beide Piloten müssen Zugriff auf dieselben Informationen und Darstellungsweisen haben, unabhängig davon, ob konventionelle Displays oder HUDs genutzt werden.
- Die verwendeten Symbole müssen eindeutig gestaltet sein und sollten soweit wie möglich auf HUDs und konventionellen Anzeigen gleich dargestellt werden, um eine Missdeutung der angezeigten Informationen zu verhindern.
- Es muss für die Piloten eindeutig identifizierbar sein, bei welchen Elementen es sich um die Darstellung der realen Außensicht in Echtzeit handelt und welchen Darstellungen synthetische Quellen zu Grunde liegen.
- Bei Systemausfällen muss die Flugführung über Redundanz gewährleistet sein. Zudem müssen die Grenzen der Systeme eindeutig bekannt sein.
- Die Aktualität und Integrität des Systems muss bei Datenbank-basierten Lösungen zu jeder Zeit garantiert sein.
- Um ein situationsgerechtes Überwachen und Eingreifen, sowie manuelles Fliegen zu ermöglichen, müssen die Anzeigen in dem Maße genau sein, dass die geforderte Navigationspräzision eingehalten werden kann.
- Die Einführung neuer Systeme muss mit ausreichendem Training und der Evaluation der operationellen Umsetzbarkeit begleitet sein.

Die frühzeitige Einbeziehung von Piloten in den Entwicklungsprozess neuer Anzeigen stellt die menschenzentrierte Cockpitgestaltung sicher. Sie leistet somit einen großen Beitrag zur Optimierung dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle und damit zur Erhöhung der Flugsicherheit.

### QUELLENANGABEN

<sup>1</sup> Endsley, M.R., & Garland, D.J. (Eds.). (2000). *Situation awareness analysis and measurement*. Mahwah, NJ: Erlbaum

<sup>2</sup> United States. Federal Aviation Administration. Human Factors Team. (1996). *Federal Aviation Administration Human Factors Team Report on the*

*Interfaces Between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems*, Federal Aviation Administration.

<sup>3</sup> Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA). (1993). *Official report of the Commission of Investigation into the accident on 20 January 1992 near Mont Sainte Odile (Bas-Rhin) of the Airbus A320 registered F-GGED operated by Air Inter*. URL: [http://lessonslearned.faa.gov/AirInter148/Accident\\_Report\\_Eng.pdf](http://lessonslearned.faa.gov/AirInter148/Accident_Report_Eng.pdf) [Stand 30. Juli 2016]

<sup>4</sup> Federal Aviation Administration (FAA). *Air Inter A320 at Strasbourg. Accident Overview*. URL: [http://lessonslearned.faa.gov/ll\\_main.cfm?TabID=2&LLID=57&LLTypeID=2](http://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=2&LLID=57&LLTypeID=2) [Stand 30. Juli 2016]

<sup>5</sup> Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr Energie und Kommunikation. (2002). *Schlussbericht des Büros für Flugunfalluntersuchungen über den Unfall des Flugzeuges Saab 340B, HB-AKK, betrieben durch Crossair unter Flugnummer CRX 498, vom 10. Januar 2000 bei Nassenwil/ZH*. URL: [http://www.sust.admin.ch/pdfs/AV-berichte/1781\\_d.pdf](http://www.sust.admin.ch/pdfs/AV-berichte/1781_d.pdf) [Stand 30. Juli 2016]

<sup>6</sup> Wickens, C. D. (2003). Aviation displays. In *Principles and practices of aviation psychology*, 147-199.

<sup>7</sup> Shelton, K. J., Kramer, L. J., Ellis, K., & Rehfeld, S. A. (2012, October). Synthetic and Enhanced Vision Systems (SEVS) for NextGen simulation and flight test performance evaluation. In *2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC)* (pp. 2D5-1). IEEE.

<sup>8</sup> Kramer, L. J., Arthur III, J. J., Bailey, R. E., & Prinzel III, L. J. (2005, May). Flight testing an integrated synthetic vision system. In *Defense and Security*. International Society for Optics and Photonics, 1-12.

<sup>9</sup> Boeing. (2016). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations. 1959-2015*.