

# Electronic Flight Control Systems- Ein Diskussionsbeitrag

Von Dipl.-Ing. (FH) Nikolaus J. Braun

Vereinigung Cockpit e.V., Arbeitsgruppe Konstruktion und Flugbetrieb

## Zusammenfassung

Die Einführung von sogenannten Fly-By-Wire Flugsteuerungen bzw. Electronic Flight Control Systems (EFCS) in den 1980er Jahren war ein Meilenstein der Flugzeugentwicklung. Entscheidend dabei war aber weniger die Signalübertragung auf elektrischem statt mechanischem Wege, sondern viel mehr der Fakt, dass Computer die Eingabesignale nahezu beliebig definieren und modifizieren können. Im Zuge der Einführung ist bei Airbus das haptische Feedback entfallen, dass sowohl Eingaben des anderen Piloten als auch des Autopiloten durch die physische Verbindung der Bedienelemente übertragen hat. Piloten weltweit sehen dies als Manko an.

In der bisherigen Diskussion stehen sich der Eindruck der Benutzer und die objektiv als sicher zu bewertende Technologie gegenüber. Die Diskussion soll mit Hilfe der folgenden Fragen fortgesetzt werden um Ansätze für Steuerungskonzepte der Zukunft zu finden: Warum wird das fehlende Feedback bemängelt? Könnte ein besseres EFCS Loss of Control In-Flight Unfälle verhindern? Sind die ersten kommerziell angebotenen aktiven Sidesticks ein neuer Trend? Was für alternative Feedbacksysteme sind denkbar?

## Einführung

Mit dem Erstflug des A320 1987 haben die Electronic Flight Control Systems (EFCS) Einzug in die zivile Verkehrsfliegerei erhalten. Vorrangig wurde in der Kommunikation hervorgehoben, dass der Umstieg auf die elektrische Signalübertragung Gewichtsvorteile und geringere Wartungskosten mit sich bringt. De facto wurde die grundsätzliche Philosophie, wie ein Flugzeug gesteuert wird, komplett verändert:

Die physische Auslenkung des Eingabegeräts (Sidestick) wird in ein elektronisches Signal gewandelt. Dieses kann nun von den Computern frei definiert und anschließend modifiziert werden. Bei Airbus kommentiert der Sidestick im „Normal Law“ im Pitch Kanal ein g-Load-Demand, im Rollkanal eine Rollrate. Das heißt, ist der Stick nicht ausgelenkt ist die g-Load  $a=1g$  und die Rollrate  $0^\circ/s$ . Ist das „Normal Law“ aufgrund von Systemfehlern nicht verfügbar, werden die Signale anders interpretiert. Die Signaldefinition kann damit flexibel gestaltet werden.

Die Modifikation der Signale hat noch größere Auswirkungen. Die Computer können je nach gewünschten Regeln Limits einfügen, korrigierende Signale einspeisen oder sogar Signale des Sidesticks durch eigene Signale ersetzen. Mit Hilfe dieser Möglichkeiten kann das Flugzeug im Rahmen der fliegaren Betriebsgrenzen gehalten werden, unabhängig von den Eingaben des Piloten. Größten Nutzen zieht der Pilot dabei im Extremfall, z.B. bei einer Bodenannäherungswarnung. Während bei einem konventionellen Flugzeug der Pilot den drohenden Strömungsabriss in dieser hochdynamischen Situation bei seinen Eingaben beachten muss, kann der Pilot mit einem EFCS einen Vollausschlag eingeben – das Flugzeug wird die größtmögliche Steigrate generieren, den sich anbahnenden Strömungsabriss aber rechtzeitig und definiert vermeiden. Es entlastet dabei den Piloten, während es gleichzeitig kleinere Margen zu den Limits tolerieren kann.

Anders als bei konventionellen Steuerungen ist es nicht mehr notwendig die Eingabegeräte sich mitbewegen zu lassen. De facto baut das Airbus EFCS darauf auf, dass die Kontrollorgane passiv sind. Weder ein Input des anderen Piloten noch ein Eingriff des Autopiloten wird durch den Sidestick

zurückgemeldet. Ebenso verbleiben die Schubhebel im Normalbetrieb in physischen Rasten und entsprechen damit nicht der aktuell eingestellten Leistung.

### Sicherheit von EFCS und die Kritik der Piloten

Moderne EFCS sind sicher. Diese Aussage ist nicht nur die Meinung der Hersteller, sondern wird auch von den Piloten und durch zahlreiche Statistiken gestützt.

Model	EFCS	Flüge [Mio]	Rate
A300	NO	12,84	0,47
<b>A320 Family</b>	YES	84,62	0,11
<b>A330</b>	YES	7,41	0,27
<b>A340</b>	YES	3,03	0,00
B737 all	NO	192,84	0,27
<b>B737NG</b>	NO	60,87	0,08
B757	NO	23,81	0,23
<b>B777</b>	NO	8,33	0,24
<b>B747-400</b>	NO	7,78	0,06

Tabelle 1: Rate fataler Unfälle, Quelle: [airsafe.com](http://airsafe.com)<sup>1</sup>

Tabelle 1 zeigte, dass die Rate fataler Unfälle je Millionen Flüge von Flugzeugen mit EFCS sich nicht wesentlich von Flugzeugen ohne EFCS unterscheiden. Zu berücksichtigen ist allerdings dabei, dass diese Statistik alle Arten von Unfällen mitberücksichtigt. Die A320 Familie liegt etwa auf dem selben Wert wie die aktuelle B737NG-Familie, der A330 bewegt sich im Bereich der B757 oder B777. Im Umkehrschluss kann man aber auch daraus lesen: Das EFCS alleine macht ein Flugzeug nicht signifikant sicherer.

Mitte der 1980er Jahre hat der Weltpilotenverband ein Policy-Statement verfasst, welches bis 2012 in den IFALPA Annexes zu finden war<sup>2</sup>. In diesem Statement wurden unter Anerkennung des technischen Fortschritts und der Vorteile des Systems die Kritikpunkte der Piloten an den EFCS zusammengefasst. Es sind drei Kernforderungen, die hier benannt werden:

1. EFCS sollen ein haptisches Feedback liefern, welches die Eingaben des anderen Piloten und des Autopiloten widerspiegelt – analog zu der bekannten Technologie der Steuersäulen.
2. Der automatische Schubregler soll sich passend zu der aktuell anliegenden Leistungseinstellung mitbewegen
3. Die hochautomatisierten Assistenz- und Begrenzungssysteme sollen im Bedarfsfall abschaltbar sein

Aktuell ist dieses Statement nach längerer Diskussion mit Herstellern und Anderen zurückgezogen.

### Fehlendes Feedback

In der Kritik ist das fehlende Feedback für die Eingaben des anderen Crewmembers das zentrale Element.

Bei den herkömmlich mechanisch verbundenen Steuersäulen bewegt sich die jeweils andere Steuersäule synchron mit. Eine Aktion des Piloten, wie in Abbildung 1: Feedback des Piloten 2Abbildung 1 zu sehen, wird als mechanisches Feedback dem anderen Piloten zugeführt. Der zweite

<sup>1</sup> „Plane fatal crash rates by model“, [www.AirSafe.com](http://www.AirSafe.com)

<sup>2</sup> „Electronic Flight Control Systems“, IFALPA Annex 8 Appendix D, Version May 2012

Pilot ist daher zu jeder Zeit dazu in der Lage, die Eingaben des anderen Piloten zu überwachen und ggf. in der Situation spontan mit einzugreifen. Er hat ein sehr hohes Situationsbewusstsein für die aktuellen Steuereingaben.

Da die Sidesticks aktueller EFCS diese Koppelung nicht besitzen, entfällt diese Möglichkeit der Überwachung. Darüber hinaus ist durch die Position des Sidesticks an der Außenseite des jeweiligen Arbeitsplatzes er nicht mehr im Blickfeld des anderen Piloten oder wird durch Beine oder Oberkörper gänzlich verdeckt.

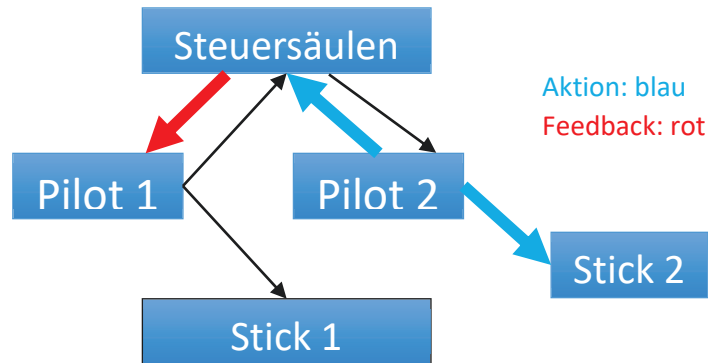


Abbildung 1: Feedback des Piloten 2

Die Überwachung kann nur noch indirekt erfolgen, in dem die Reaktion des Flugzeugs bewertet wird. Es entsteht dabei ein deutlicher zeitlicher Verzug sowie die Notwendigkeit die Änderung der Trajektorie ggf. umzukehren. Hinzu kommt, dass ein intuitives reagieren kontraproduktiv ist: Die Signale beider Sticks werden mathematisch aufaddiert, so dass sie verstärkt oder nivelliert werden. Um einzugreifen ist es notwendig, dass gemäß der veröffentlichten Betriebsverfahren, die Kontrolle eindeutig von einem Piloten an den anderen übergeben wird.

Ähnlich verhält es sich mit dem Autopiloten, wie in Abbildung 2 dargestellt. Im Rahmen der Stabilitätskriterien im Normal Law wird der Autopilot automatisch eine Reaktion auf eine Störung vornehmen um z.B. den Rollratenbedarf von 0°/s einzuhalten. Diese Reaktion wird den Piloten nicht angezeigt.

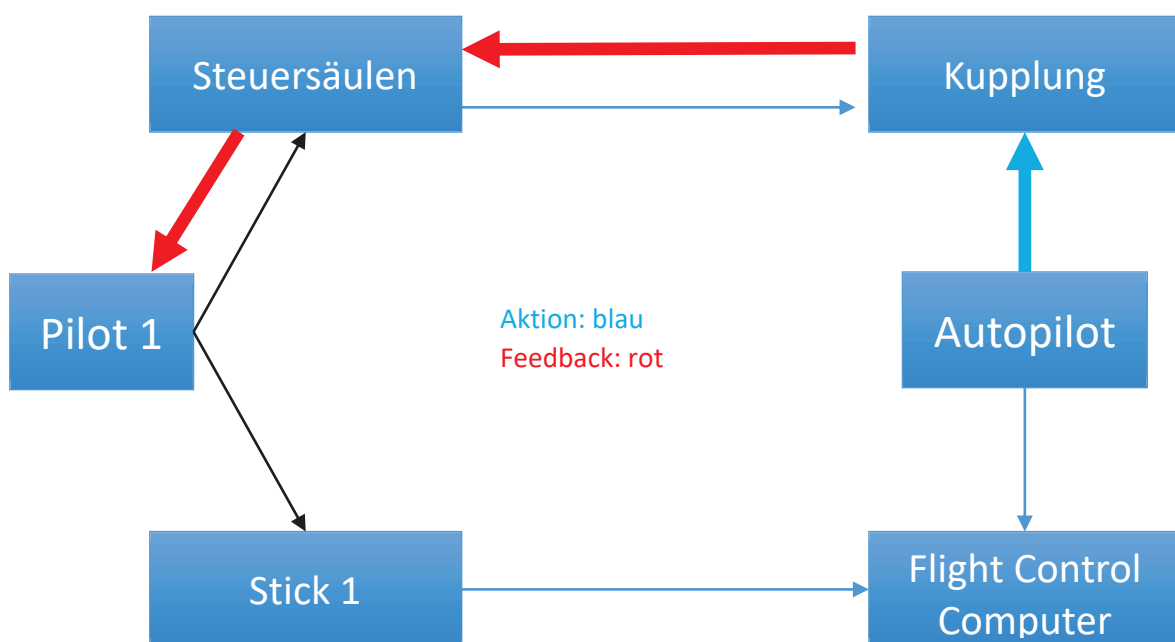


Abbildung 2: Fehlendes Feedback des Autopiloten

Im konventionellen Flugzeug wurde die Aktion des Autopiloten durch eine Kupplung dem Piloten zurückgemeldet: Die Steuersäule hat sich mitbewegt.

Fast identisch sind die Zusammenhänge beim automatischen Schubregler. Im Unterschied werden die Leistungsparameter aber durchgängig dem Piloten auf Displays direkt oder indirekt angezeigt. Diese Darstellung ist bei bewusstem Hinsehen natürlich einfach zu interpretieren. Es fehlt aber die Möglichkeit aus dem Augenwinkel, vielleicht teilweise unbewusst oder automatisiert, das Verhalten zu überwachen.

### Loss-of-Control-In-Flight-Unfälle

Sogenannte „Loss-of-Control-In-Flight“ (LOC-I)-Unfälle sind Unfälle, die aus einem Kontrollverlust über das fliegende Flugzeug resultieren. In diese Kategorie gehören auch Strömungsabrisse (Stall). Die Ursache für einen LOC-I können sehr vielfältig sein und beinhaltet neben dem Fehlverhalten der Besatzung auch Fehlfunktionen von Systemen oder andere externe Störungen.

Statistisch sind im Zeitraum 2010-2014 die LOC-I Unfälle die häufigste Art tödlicher Unfälle, gefolgt von „Controlled Flight Into Terrain“. Die Anzahl schwankt zwischen 6 und 10 Unfällen pro Jahr weltweit im zivilen Luftverkehr.

Die IATA<sup>3</sup> unterteilt die beitragenden Faktoren in verschiedenen Kategorien, die nochmal detailliert aufgespalten sind. Im Bereich Flight Crew Error fallen vor allem zwei einzelne Faktoren auf: „Manual Handling / Flight Controls“ sowie „SOP<sup>4</sup> adherence / SOP Cross Verification“.

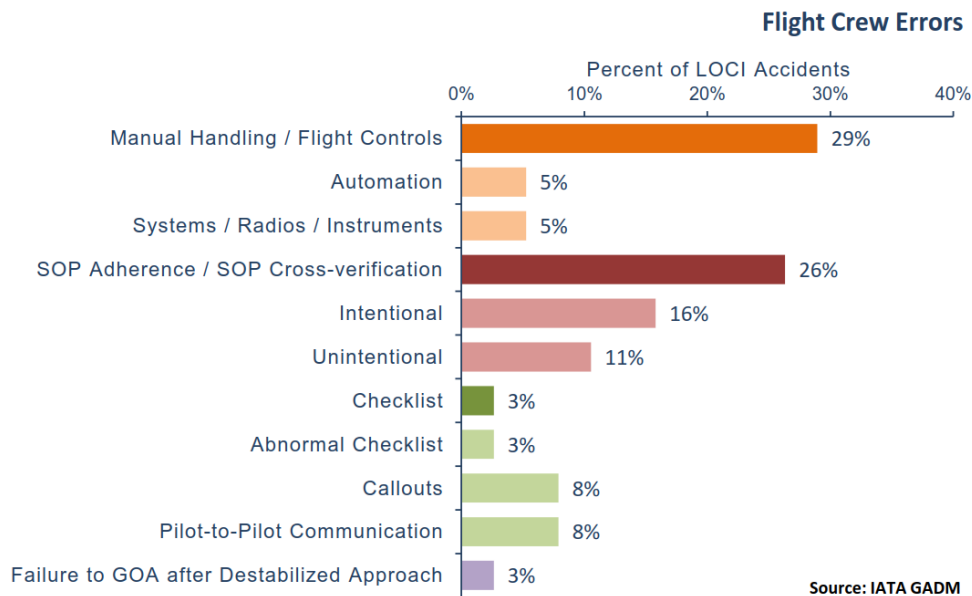


Abbildung 3: Beitragende Faktoren in der Kategorie Flight Crew Error, Quelle: IATA

Natürlich muss man bei diesen Zahlen berücksichtigen, dass sie nicht alleine auf EFCS Flugzeuge zutreffen, sondern generell alle zivilen Verkehrsflugzeuge als Basis nehmen.

Kann ein verbessertes EFCS, das dem Piloten die Eingaben des anderen Piloten mit darstellt an diesen Zahlen etwas verändern?

Dass ein EFCS mit Feedback (klassische Steuersäule), wie es z.B. in Boeing Flugzeuge eingebaut wird, bzw. konventionelle Flight Controls auch kein Allheilmittel sind, zeigen exemplarisch Unfälle in der

<sup>3</sup> „Loss of Control in-flight accident analysis report 2010-2014“, IATA

<sup>4</sup> SOP – Standard Operating Procedures. Verbindliche Betriebsverfahren des Herstellers und Betreibers

Vergangenheit: Sowohl bei dem Absturz der Asiana 214 am 6. Juli 2013 (Aufprall auf Seewall vor Landebahn während des Landesankommens in San Francisco) als auch bei dem Absturz der Turkish Airlines TK1951 vor Amsterdam (Unbemerkt Schubreduktion durch Systemfehler im Endanflug) wurde das (Fehl-)Verhalten der Automation nicht richtig erkannt.

### Sidesticks mit Feedback von SAGEM und BAE Systems

Sidesticks mit Feedback sind keine Zukunftsmusik. Sie werden im militärischen Bereich schon seit mehreren Jahren eingesetzt, z.B. beim Hubschrauber CH-53K oder der F-35, die beide auf die Systeme von BAE Systems zurückgreifen. Im zivilen Bereich wird erstmal die Embraer KC-390 einen aktiven Sidestick bekommen, gefolgt von der Gulfstream G500/G600 dieses Jahr. Eine Verwendung bei Verkehrsflugzeugen ist derzeit noch nicht geplant wird aber angestrebt.

Bei den „active Inceptor“-Sticks von BAE Systems sind alle wesentlichen Parameter wie z.B. Übersteuerungskräfte frei durch den Flugzeughersteller programmierbar. Viele Sonderfunktionen können bestellt werden, während der klassische „Stick Shaker“ als Warnung vor einem Strömungsabriss als Standard mitgeliefert wird.

SAGEM engagiert sich in dieselbe Richtung, geht aber noch weiter in der Überlegung, ob auch Gierbewegungen (d.h. um die Hochachse) über den Stick kommandiert werden können sollen.

### Alternative Feedbacksysteme

Die Wiedergabe von Steuereingaben per haptischem Feedback ist die naheliegendste, vermutlich intuitivste und einfachste Lösung für eine umfassende SA. Es ist aber sicherlich nicht die einzige Option. Was für andere Lösungen sind denkbar, mit der eine vergleichbare SA geschaffen werden kann? Was für Optionen bieten sich als Retrofit oder Ergänzung für bestehende Layouts an? Das Sidestick-Symbol, wie es auf den Airbus Flugzeugen teilweise implementiert ist, stellt eine Variante dar. Da diese im Fluge aber nicht unproblematisch ist und es schon Verwechslungen kam, wurde sie in der Luft deaktiviert.

### Quellen

„The A320's Fly-by-Wire System“, B.J. Feder, New York Times, 29.06.1988

„Loss of Control in-flight accident analysis report 2010-2014“, IATA  
[www.iata.org](http://www.iata.org), abgerufen am 09.08.2016

„Plane fatal crash rates by model“, AirSafe,  
[www.AirSafe.com](http://www.AirSafe.com), abgerufen am 09.08.2016

„Electronic Flight Control Systems“, IFALPA Annex 8 Appendix D, Version May 2012, IFALPA

„Flight Controls“, BAE Systems Commercial Aircraft Solutions,  
[www.baesystems-ps.com/flight-controls.php](http://www.baesystems-ps.com/flight-controls.php), abgerufen am 10.08.2016

„Descent Below Visual Glidepath and Impact With Seawall, Asiana Airlines Flight 214“, National Transportation Safety Board (NTSB) Accident Report, NTSB/AAR-14/01, June 24th 2014

„Crashed during approach, B737-800, near Amsterdam Schiphol Airport 25.02.2009“, The Dutch Safety Board, [www.safetyboard.nl](http://www.safetyboard.nl), May 2010

„Active Sidestick Controls Make Commercial Debut“, G. Warwick, Aviation Week & Space Technology, 05.01.2015, [aviationweek.com](http://aviationweek.com), abgerufen am 12.08.2016