Mode Confusion und designbegünstigte Unfälle

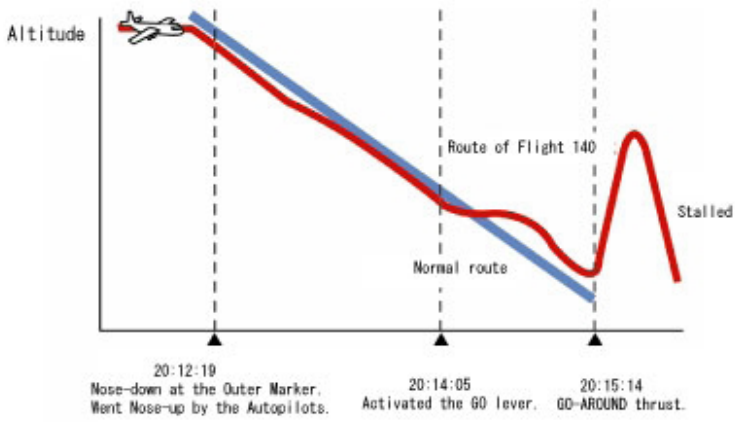
Probleme im Interface zwischen Mensch und Flugzeug
von Flugkapitän Peter Klant

In modernen Flugzeugen finden sich heute nicht nur die uns bekannten Warnsysteme, wie zum Beispiel die Stall Warning. In Verkehrsflugzeugen sind inzwischen auch leistungsfähige Schutzfunktionen (Protections) in die Steuerung eingebaut. Sie bringen eine deutliche Verbesserung der Flugsicherheit mit sich. Was passiert jedoch, wenn sich diese Systeme mal „irren"? Was, wenn Protections Amok laufen oder Sensorfehler auftreten? Und was passiert, wenn der wichtigste Rechner im Cockpit – der Pilot – plötzlich die Situational Awareness verliert und nicht mehr versteht, was der Flieger gerade macht? Diesen Themen möchte ich nachgehen und dazu einige Beispiele vorstellen.

Ich werde einige Designschwächen in der Steuerung von Verkehrsflugzeugen erläutern und auch die Frage stellen: Sind wir wirklich bereit für unbemannte Airliner?

1. Einführung

Am 26. April 1994 stürzte im Anflug auf Nagoya ein Airbus A300-600 der China Airlines ab. Ein verwirrender Kampf zwischen den Piloten und dem Autopiloten war der Katastrophe vorausgegangen, bei der alle 264 Insassen ums Leben kamen. Diesen und ähnliche Unfälle hatte die amerikanische FAA zum Anlass genommen, ein Human-Factors-Team mit einer Studie zu beauftragen. Unter dem Titel „The Interfaces Between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems" wurde die Arbeit am 18.



Stall und Absturz China Airlines Airbus A300-600 in Nagoya am 26. April 1994 Association for the Study of Failure, Japan

Juni 1996 veröffentlicht. Sie enthält eine erschreckende Sammlung von Unfällen sowie Empfehlungen, wie man in diesem Bereich das Fliegen sicherer machen könnte.

Heute, 23 Jahre nach der Studie, muss man leider feststellen, dass die angesprochenen Probleme nach wie vor bestehen. Zeit also, sich erneut mit dem Interface zwischen Mensch und Flugzeug zu beschäftigen.
Warnsysteme und Schutzfunktionen im Flugzeug erfordern für ihre sichere Funktion nicht nur eine einwandfrei programmierte Software und fehlerfreie Sensoren. Auch mehrfache Redundanz von Schutzfunktionen reicht u.U. nicht aus, um das „Flugzeug zu retten". Es ist unbedingt erforderlich, dass der Pilot mit im Loop ist, wenn sich etwas Drastisches in der Flugzeugführung oder der Steuerung ereignet. Verliert der Pilot oder die Pilotin die Übersicht, die vielbeschworene „Situational Awareness", dann kann das schnell zu einem Kampf Mensch gegen Maschine im Cockpit führen. Leider manchmal mit tödlichem Ausgang für alle Insassen des Flugzeugs.

Solche kritischen Situationen können entstehen, wenn mehrere der folgenden Faktoren zusammenkommen:

- Sensorfehler,
- Fehlwarnung,
- Stall Warning funktioniert nicht wie erwartet,
- Designprobleme in der Steuerung oder den Anzeigen im Cockpit,
- Design- oder Softwarefehler in einer Protection,
- ungünstiges, für den Piloten nicht offensichtliches Design einer Schutzfunktion oder Warnung,
- fehlerhafte und nicht vorhandene Dokumentation im Pilots Manual,
- plötzliche, unerwartete Mode-Changes,
- Pilot erkennt den Status des Autopiloten nicht (ON/OFF),
- Pilot verwechselt Autopilot- und/oder Flight-Director Modes (Mode-Confusion),
- unzureichendes Piloten-Training,
- mangelnde Systemkenntnisse der Piloten.

In einigen Beispielen, die ich zeigen werde, spielt der folgende Faktor eine besonders große Rolle:

- Pilot erkennt den Status des Autopiloten nicht (ON/OFF).

„Nun, das kann ja wohl nicht so schwer sein", mag mancher denken. Dennoch, nicht zu wissen, ob der Autopilot noch eingeschaltet ist oder nicht, kann schnell zu ganz bösen, turbulenten Situationen im Cockpit führen. Ich erinnere mich noch deutlich an ein solches Ereignis beim Simulatortraining auf dem A310, vor über 30 Jahren:

Der Pilot Flying flog in einer dynamischen Situation auf einmal nicht mehr so, wie ich das erwartete. Noch bevor ich etwas sagen konnte, ließ er die Steuersäule los, drehte sich fragend nach hinten zum Trainingskapitän um und meinte: „Ich verstehe nicht, was er macht." „Was wer macht?", fragte der Trainingskapitän. „Der Autopilot", war die Antwort des PF.
Ich meinte nur: „Der Autopilot ist doch ausgeschaltet. Du fliegst von Hand. Du hast ihn selbst deaktiviert."

Der Kollege war völlig perplex. Er war sich hundertprozentig sicher, dass der Autopilot eigeschaltet war. War er aber nicht …

In Verkehrsflugzeugen sind optische und akustische Warnungen vorgeschrieben, wenn der Autopilot ausgeschaltet wird oder rausfällt. Dennoch geht diese wichtige Information manchmal in einer kritischen Situation unter. Das darf nicht passieren. Es kommt nicht von ungefähr, dass die Warnung „Autopilot OFF“ nicht einfach nur eine gelbe Caution ist. Bei Airbus ist es eine „Red Warning“, die mit denselben Master Warning Lights angezeigt wird wie ein Engine Fire.

Ich möchte nun einen Vorfall vorstellen, bei dem gleich mehrere der oben erwähnten Faktoren zusammenkamen. Steigen Sie ein und fliegen Sie mit: Ein ganz gewöhnlicher Anflug auf Paris, bei bestem Wetter. Nehmen Sie auf einem Jumpseat Platz, von da sieht man alles besonders gut. Sie sitzen im Cockpit eines Airbus A310 der rumänischen Fluggesellschaft Tarom. Schnallen Sie sich gut an, denn in nur wenigen Augenblicken geht es um Leben und Tod …

2. Paris-Orly, Airbus A310, 24. September 1994

Der Kapitän war Pilot Flying. Geplant war ein ILS-Anflug auf die Bahn 26. Es sollte eine automatische Landung werden, also waren Autopilot und Autothrust aktiv. Der Anflug war „hot and high“, wie wir früher salopp gesagt hätten. Heute würde man sagen, es war ein unstabilisierter Anflug. Beim Passieren von 6.600 Fuß betrug die Groundspeed noch 400 Knoten. Der ILS Intercept funktionierte nicht wie vorgesehen. Der Localizer wurde in einem Winkel von 65 Grad mit 250 Knoten angeflogen. Als der Kapitän merkte, dass kein Capture erfolgte, schaltete er den Autopiloten aus und flog den Intercept von Hand. Der Autothrust blieb eingeschaltet. Auf dem Cockpit Voice Recorder konnte man später deutlich die beiden Warnungen hören, die durch das Ausschalten des Autopiloten ausgelöst worden waren: die „cavalry charge“ für den Autopilot-Disconnect selbst und den „triple click“ für „capability downgrade“: Ohne Autopilot war nun natürlich keine automatische Landung mehr möglich. Keiner der beiden Piloten kommentierte den Autopilot-Disconnect.

Tarom A310 YR-LCA. Beim Beinahe-Crash über Paris war das Fahrwerk ausgefahren.
Quelle: YouTube

Als das Flugzeug 3.000 Fuß passierte, war es immer noch nicht auf dem Glideslope. Konsequenterweise kam die „altitude alert“ Warnung an, denn als Höhe war noch 3.000 Fuß eingedreht. Um die Warnung zu löschen, drehte der Copilot die Höhe auf 4.000 Fuß hoch. (Ein noch heute veröffentlichtes Verfahren z. B. auf dem A380 beim Intercept des Glideslope von oben).

Die Klappen wurden nun rasch ausgefahren, immer knapp am Geschwindigkeitslimit. Bei 195 Knoten (dem Flap Placard Limit) verlangte der Kapitän „Flaps 20“. Das Flugzeug durchflog eine Bö und die Flap Limit Speed wurde im Sinkflug um zwei Knoten überschritten ...

Es war 10 h 43 m 24 s und das Drama nahm seinen Lauf:
Plötzlich fuhren die Schubhebel von selbst nach vorne, der Flightdirector Mode wechselte von V/S (vertical speed) auf CLB (climb) und das Flugzeug begann einen Steigflug. Es gab zwei überraschte Callouts im Cockpit:
Der Copilot: „Übernimm von Hand!“

Der Kapitän: „Hey, er fliegt einen go around!“
Der Kapitän griff hin und zog die Schubhebel zurück auf Leerlauf. Er versuchte, die Nase herunter zu kriegen. Und weil er glaubte, der Autopilot würde das Manöver fliegen, drückte er mehrfach vergeblich den Autopilot Disconnect Button an der Steuersäule. Gleichzeitig begann die Trimmung nach hinten zu laufen. Weil nun die Fahrt in den Keller ging, schob der Kapitän die Schubhebel ganz nach vorne auf TOGA Power. Das erzeugt beim A310 durch die tief hängenden Triebwerke ein enormes Pitch-up-Moment. Inzwischen war der Trim – von der Besatzung unbemerkt – bis an den Anschlag des elektrischen Trims nach hinten gefahren. Nun konnte die Crew selbst mit Steuersäule voll nach vorne die Fluglage nicht mehr kontrollieren: Das Flugzeug stieg steil nach oben, bis die Pitch Attitude 60° Nose-up erreichte. Um 10 h 44 m 35 s, 69 Sekunden nach dem Mode-Change von V/S auf CLB erreichte der A310 seine größte Höhe von 4.100 Fuß. Mit dramatischen schnellen Rollbewegungen (+/–70° Querlage) riss die Strömung ab, und die Flugzeugnase fiel durch den Horizont auf minus 33° Pitch. Die Stall Warning ertönte, die Crew versuchte, den steilen Sturzflug abzufangen. Mit 2,1g – jenseits des zulässigen Limits – und verbunden mit mehreren „Terrain, Terrain“-Warnungen aus dem GPWS konnte der Sturzflug in nur 800 Fuß gestoppt werden.
Der völlig geschockten Crew, die nicht wusste, wie ihr geschah, gelang es später, halbwegs kontrolliert einen Sichtanflug auf die Bahn 26 zu fliegen.

Was war geschehen? Der französischen Unfalluntersuchungsbehörde BEA standen sämtliche Daten zur Verfügung: Der Flight Recorder, der Cockpit Voice Recorder, die Funkaufzeichnungen, die Zeugenaussagen des Tower-Controllers, der den Beinahe-Absturz gesehen hatte, sowie die Aussagen von anderen Piloten, die ebenfalls Augenzeugen wurden. Weil die Crew überlebt hatte, konnte auch die befragt werden.
Im Ergebnis war es – wie oft bei Unfällen – eine Kette von Ereignissen, die in ihrer Summe zu dem Vorfall geführt hatten. Manchmal kann das Fehlen eines einzigen Faktors einen Unfall verhindern. Deshalb finde ich es wichtig, sich mit solchen Vorfällen auseinanderzusetzen. So kann man lernen, wo man bei sich selbst im Cockpit anfangen kann, um das Fliegen sicherer zu machen.

Folgende Punkte spielten bei dem Vorfall eine Rolle, drei davon möchte ich genauer besprechen:

- Es erfolgte kein Approach Briefing.
- Die Crew war wegen einer späten Sinkflugfreigabe zu schnell und zu hoch.

- Eine Crew Coordination war in der Arbeit im Cockpit nicht erkennbar.
- Die Crew lenkte sich selber ab durch gegenseitige Hinweise auf sichtbare Pariser Sehenswürdigkeiten.
- Die Crew erkannte nicht, dass der Kapitän den Autopiloten ausgeschaltet hatte.
- Der Mode-Change wegen Overspeed von V/S auf CLB ist nicht selbsterklärend.
- Die Crew verstand offenbar den Mode-Change bei Overspeed nicht.
- Die Trimmung lief zurück, weil sie vom Kapitän versehentlich betätigt worden war.
- Obwohl der Kapitän offenbar den Überblick und die Kontrolle verloren hatte, übernahm der Copilot nicht die Steuerung.
- Bis zum Abkippen erfolgte keinerlei Stall Warning.

Besprechen möchte ich den Mode-Change, den Grund, warum der Kapitän die Trimmung bis an den Anschlag nach hinten gefahren hat, sowie die fehlende Stall Warning:

Mode Change wegen Speed Protection im A310

Gab es früher nur Warnungen in den Cockpits (Stall Warning, Overspeed Warning), so wurden in „neueren“ Verkehrsflugzeugen zusätzlich die ersten Schutzfunktionen eingebaut, die helfen sollten, wenn Limits überschritten wurden. Eine davon war die „Speed Protection“ im Airbus A310, dem ersten Airbus mit Zweimann-Cockpit (Erstflug 1982). Ganz anders als die Overspeed Protection im Airbus A380, die direkt in die Steuerung eingreift, benutzte die Speed Protection im A310 nur eine Funktion im Autoflight-System. Der Pilot konnte sie also übersteuern, indem er den Autopilot und den Autothrust ausschaltete oder im Manual Flight die Flightdirector-Kommandos ignorierte. Das war natürlich von den Designern nicht so gedacht. Airbus stellte sich vor, dass auch im Manual Flight die Crew den Flight Directors folgen würde, um die Overspeed zu beenden.

Um die von Airbus programmierte Logik zu verstehen, muss man wissen, dass es im A310 kein explizites Computerprogramm „Speed Protection“ gab. Airbus nutzte lediglich die vorhandenen Autopilot Modes. Wurde also – wie im beschriebenen Fall – im Pitch-Modus „Vertical Speed“ die Speed zu hoch, wechselte der Autopilot/Flightdirector in einen anderen Pitch Mode, in dem er die Speed direkt kontrollieren konnte. Es gab eine sog. Mode Reversion, und zwar in den Mode „Level Change“. In diesem Modus kontrollierte der Autopilot die Pitch, um die Speed wieder unter das Limit zu bekommen. Das Problem dabei war, dass der Modus „Level Change“ auch mit dem Autothrust zusammenarbeitete und dabei nur zwei Zustände kannte: „open climb“ oder „open descent“.

In welchen Mode bei Aktivierung von „level change“ gewechselt wurde, hing von der eingedrehten Höhe im Autopilot-Panel ab. War diese Höhe niedriger als die aktuelle Höhe, ging das System in „open descent“, zog die Schubhebel auf Leerlauf und nahm in der Pitch die Nase hoch, um die Geschwindigkeit wieder einzufangen. War aber die eingedrehte Höhe (wie bei diesem Zwischenfall) höher, ging das System in „open climb“, nahm

ebenfalls die Nase hoch, um die Speed zu reduzieren, schob aber die Schubhebel für den Steigflug auf Climb Power.
Airbus hatte also nur einen primitiven Workaround mit Bordmitteln parat, um eine Overspeed zu beenden, eine echte Protection war das nicht.

Nehmen Sie nun wieder auf dem Jumpseat des Tarom A310 Platz und beobachten die Einleitung zum Upset noch einmal: Der Kapitän hatte ein Speed-Problem. Er war zu hoch und zu schnell – und er wusste das. Sicher hatte er auch mal von den Mode Reversions gehört, die Airbus eingebaut hatte, um das Flugzeug vor Overspeed zu schützen. Er wollte möglichst schnell die Fahrt reduzieren, daher fuhr er die Klappen so früh. Selbst wenn ihm bewusst gewesen wäre, dass er möglicherweise so eine Mode Revision provozieren würde, stellt sich die Frage, ob es wirklich logisch für einen Piloten wäre – und unter Stressbedingungen sofort einleuchtend –, dass das Flugzeug bei Overspeed die Schubhebel vorschiebt? Sicher nicht.

Der Kapitän erkannte lediglich, dass der Flieger Gas gab und von alleine (durch das Pitch-up-Moment der Triebwerke) die Nase hochnahm. Da er annahm, dass der Autopilot noch eingeschaltet war, gab es für ihn dafür nur eine Erklärung, und er rief diese auch aus: „Hey, er fliegt einen go around!“

Da er aber den Anflug nicht abbrechen wollte, machte er das, was man dann so macht: Autopilot OFF, Nase runterdrücken, Gas raus …

„Uncommanded“ Pitch-up Trim

Die Trimmung im A310 wurde entweder elektrisch über die üblichen Schalter an der Steuersäule betätigt oder über eines der beiden Trimmräder an der Mittelkonsole. Bei dem Tarom-Zwischenfall fuhr der Trim elektrisch nach und nach bis an den Airplane-Nose-up-Endanschlag. Auf dem Cockpit Voice Recorder hörte man dabei jeweils den sog. Whooler, einen wummernden Sound aus den Lautsprechern, der auf die sich ansonsten lautlos bewegenden Trimmräder hinweisen soll. Man muss davon ausgehen, dass die Crew das nicht wahrgenommen hat. In Stresssituationen gehen Audio-Inputs leider als Erstes unter.

Aus dem Flight Recorder konnte man auslesen, dass der Kapitän seinen Trim-Switch an der Steuersäule mehrfach betätigt hatte. Die BEA fand dafür eine erschreckend einfache Erklärung:

Der Kapitän war lange die BAC 111 geflogen, und bei diesem Flugzeug war der Autopilot Disconnect Button genau da, wo beim A310 der Switch für den Nose-up Trim war. Die BEA schrieb dazu in ihrem Bericht:

> *„We may surmise that when he sought to counter the aircraft‘s tendency to pitch up without understanding its origin, confusion could have set in and having reverted to old reflexes in seeking to disconnect the automatic pilot (already disconnected) he operated the control located in the same place as the AP disconnection on BAC 111.“*

Unterdrückte Stall Warning

Bei der Lektüre von Unfallberichten verwundert mich manchmal, dass ein Verhalten des Flugzeugs, das nicht den Vorgaben der Verkehrszulassung entspricht, vielleicht erwähnt, aber dann einfach ohne Konsequenzen für den Hersteller weggelächelt wird. In diesem Fall war das die Stall Warning. Die hätte eigentlich bei diesem Zwischenfall per Design im Steigflug ankommen müssen. Immerhin erreichte der Angle of Attack unglaubliche 42° (bei 35 Knoten!). Die BEA schrieb dazu:

> *„The trigger threshold for the stall warning system (audio warning and stick shaker), [was] at 17.5°.“*

Die Stall Warning kam aber erst später im Sturzflug an. Die 17.5° Angle of Attack wurden im Steigflug erst unter 60 Knoten erreicht und daher offenbar als „invalid“ unterdrückt. Airbus kam damit ohne Modifikation durch.

So kam es, dass 15 Jahre später ein ähnliches Systemverhalten beim Air-France-Absturz über dem Atlantik (A330, 2009) die Stall Warning bei niedrigen Geschwindigkeiten ebenfalls unterdrückte. Die Air France Crew hätte – wenn sie überhaupt realisiert hätte, was passierte – das Paradoxon erleben können, dass ein Nachdrücken am Stick die Stall Warning aktiviert, ein Ziehen sie jedoch wieder abschaltet. Meiner Meinung nach muss die Stall Warning aber immer funktionieren.

Aufräumarbeiten in Dubay nach dem Absturz der Emirates B777 am 3. August 2016 Twitter Air Disasters @AirCrashMayday

Dieses seltsame Systemverhalten, das überhaupt erst durch Unfälle bekannt wurde, wird offenbar immer noch von den Zulassungsbehörden akzeptiert. Dies müsste dringend geändert werden.

Autopilot-Status und der merkwürdige Auto-Trim im A310

Man kann die Unfälle leider kaum zählen, bei denen ein Pilot sich nicht über den Autopilot-Status im Klaren war (ON, OFF bzw. welcher Mode). Hier nur drei Beispiele:

- Absturz Air-Inter A320, Straßburg, 20. Januar 1992, 87 Tote: Der Pilot interpretierte die Eingabe „33“ am Autopiloten als „Gleitwinkel 3.3°“. Tatsächlich hatte er 3.300 ft/min eingedreht.
- Absturz Asiana B777 kurz vor der Runway in San Francisco, 6. Juli 2013, 181 Verletzte, drei Tote: Der Pilot (Manual Flight) ging davon aus, dass nach Reduzierung auf die Target Speed der Autothrust die Schubhebel vorschieben würde. Tat er aber nicht, er war anders programmiert.

- Absturz Emirates B777, Go-around beim Aufsetzen, Dubai, 3. August 2016, 13 Verletzte, ein Toter, Flugzeug ausgebrannt: Der Pilot ging davon aus, dass nach Aktivierung des TOGA Modes der Autothrust die Schubhebel vorschieben würde. Tat er aber nicht, er war anders programmiert.

Detaillierter möchte ich nun einen schweren Zwischenfall und einen Unfall besprechen, in denen sowohl ein Verlust der „Situational Awareness“ in Bezug auf den Autopilot vorlag als auch eine fragwürdige Schutzfunktion im A310 / A300-600. Als ich in den 1980er-Jahren in Singapore auf dwm A310 geschult wurde, fiel uns sofort ein Feature im Autoflight-System auf:
Während eines automatischen Anflugs ließ sich der Autopilot nicht mit der Steuersäule überdrücken. Das ist eigentlich normal, denn es sollte immer nur einer fliegen – der Pilot oder der Autopilot. Das „Feature“ war jedoch, wie sich der A310 gegen den Versuch des Piloten wehrte, Einfluss auf den Flugweg zu nehmen. Drückte man mit Autopilot ON im Anflug die Steuersäule nach vorne, fuhr der Auto-Trim automatisch nach hinten (obwohl das Nachdrücken mit Autopilot ON keinerlei Einfluss auf den Flugweg hatte). Und zwar so lange, bis man die Steuersäule wieder losließ. Danach trimmte der Autopilot wieder auf die ursprüngliche Position zurück.
Wir Umschüler fanden das sofort sehr merkwürdig, unnötig und beanstandeten das. Uns wurde erklärt, das Verhalten entspreche einer Zulassungsforderung für die automatische Landung. Diese Erklärung war natürlich unzureichend: In keinem anderen Flugzeugmuster war eine so fragwürdige Funktion verbaut.

3. Interflug A310 – Missed Approach Moskau am 11. Februar 1991

Den 100 Passagieren und der Crew wird der Interflug Flug von Berlin-Schönefeld nach Moskau-Sheremetyevo sicher für immer in Erinnerung bleiben. Auf einem Flugsicherheitsseminar wurde uns damals unter dem Siegel der Verschwiegenheit eine Visualisierung der Flugschreiber-Daten gezeigt. Heute ist das Video öffentlich und der Vorfall – vor allem wegen des späteren Absturzes eines A300-600 – auch außerhalb von Pilotenkreisen bekannt.
Der Flug nach Moskau verlief absolut normal bis der Towerlotse zum Go-around aufforderte. Die Landebahn war noch nicht frei. Der Go-around wird beim A310 mit einem Tippen auf die TOGA Levers zwischen den Schubhebeln eingeleitet. Bei dem Anflug auf Moskau war der Autopilot noch eingeschaltet und so wechselte dieser in den Go-around-Mode. Gleichzeitig schob der Autothrust die Schubhebel nach vorne. Der Go-around wurde in 1.300 Fuß Höhe eingeleitet. Auf Anweisung des Towers war das Target für die Höhe auf nur 1.600 Fuß (500 Meter) eingedreht worden. Das ist die denkbar ungünstigste Konstellation für ein Durchstartmanöver: leichtes Gewicht, voller Schub, niedrige Level-off Altitude.

Das Setup zum Desaster dauerte nur sechs Sekunden: Weil sich die Maschine nach Ansicht des Piloten zu stark aufbäumte, wurde die Steuersäule mit Autopilot ON nach vorne gedrückt, ohne den Autopiloten vorher auszuschalten. Nun griff die oben beschriebene „Schutzfunktion“ ein, und der Auto-Trim trimmte zügig gegen den Piloteninput. Nach sechs Sekunden war der Trim ganz hinten,

und der Autopilot fiel auf OFF, als die eingedrehte Höhe erreicht wurde („Schutzfunktion“ nur aktiv im LAND oder G/A Mode unter 1.500 ft). Die Fluglage betrug da zwar „nur“ 15° pitch-up, aber dem Piloten gelang es nicht, die Nase zum Level-off herunterzudrücken. Die Ursache dafür war der voll nach hinten getrimmte Stabilizer.
Der Pilot glaubte jedoch, es läge am Autopiloten, der immer noch eingeschaltet sein (war er aber nicht). Trotz Nose-down-Input des Piloten bäumte sich nun das Flugzeug weiter auf. Da der Kapitän immer noch glaubte, der Autopilot sei eingeschaltet, begann er später sogar Sicherungen zu ziehen (die falschen), ohne Erfolg. Die Fluglage erreichte im Stall 84° Nose-up, ohne dass die Crew ein einziges Mal versuchte, nach vorne zu trimmen.

Beachtenswert war – im Video gut sichtbar –, dass im Moment des Abkippens die Steuersäule kurz voll nach hinten durchgezogen wurde. Also genau entgegengesetzt zu dem erforderlichen Input bei einer Stall Recovery. Dieses instinktive falsche Verhalten wurde von Unfalluntersuchern in ähnlichen Situationen leider schon mehrmals beobachtet. Eventuell wird das Verhalten durch drastische sensorische Eindrücke ausgelöst: Plötzlich hat man das Gefühl, zu fallen (zero-g), zusammen mit einer rasanten Nose-down Pitch Rate.

Der A310 stallte insgesamt viermal, bevor die Crew die Maschine wieder unter Kontrolle bringen konnte. Die Querlage erreichte dabei Werte von über 90°. Ihren Lebensabend verbrachte diese Maschine später in der Flugbereitschaft der Bundeswehr.

Erste Folgen des Interflug-Zwischenfalls

Wie bereits erwähnt, haben Airline-Piloten schon in den 1980er-Jahre auf die Risiken und die fehlende Sinnhaftigkeit des Features im Auto-Trim-System des A310 hingewiesen. Spätestens nach dem A310 Jo-Jo 1991 über Moskau hätten die Zulassungsbehörden eine Änderung des Systems durch Airbus zwingend vorschreiben müssen. Haben sie aber nicht. Der Vorgang hatte eine verblüffende Ähnlichkeit mit der Untätigkeit der FAA nach dem LionAir-Crash vom 29. Oktober 2018. Obwohl das haarsträubende „Hardware-Design“ (Flugzeug) der Boeing 737 MAX nun auch für Blinde sichtbar war, hat die FAA kein Flugverbot verhängt. Es wurde zuerst lediglich eine Modifikation des „Software-Designs“ (Pilot) in Form von Hinweisen auf Checklisten und Ergänzungen der Handbücher verlangt. Bis zum zweiten Absturz einer B737 MAX.

Airbus hatte jedoch – offenbar auf Kundenwunsch – nach dem Moskau-Zwischenfall eine Modifikation des Autoflight-Systems für den A310 und den A300-600 entwickelt. Statt automatischem Misstrim im LAND und G/A Mode unter 1.500 Fuß schaltete sich nun – wie es Sinn macht – der Autopilot aus, wenn eine größere Kraft auf die Steuersäule ausgeübt wurde. Das beanstandete „Feature“ war bei modifizierten Flugzeugen nur noch bei automatischen Landungen unter 400 Fuß aktiv. Die freiwillige Änderung in Airbus Service Bulletin SB A300-22-6021 kam – weil sie nicht verpflichtend war – zu spät für Crew und Passagiere eines unmodifizierten A300-600 im Anflug auf Nagoya …

4. Absturz China Airlines Airbus A300-600, Nagoya, Japan, 26. April 1994

Die tragische Geschichte ist schnell erzählt. Sie enthält Elemente des Interflug-Zwischenfalls von 1991 und war daher in gewisser Weise vorhersehbar gewesen. In Moskau war es lediglich Glück gewesen, dass alle mit dem Leben davongekommen waren. Seitdem waren bei China Airlines jedoch die Flugzeuge nicht modifiziert worden. Und so machte die Crew ähnliche, diesmal tödliche Fehler:
Im Anflug – in manual flight – auf dem ILS betätigte der Copilot versehentlich die TOGA Switches an den Schubhebeln. Das Autoflight-System wechselte in den Go-around Mode, und schob die Schubhebel vor. Der Pilot hatte den Mode-Change nicht mitbekommen, schaltete den Autopilot ein (im Go-around Mode) und versuchte entsprechend den Anweisungen des Kapitäns, mit Druck auf die Steuersäule die Nase wieder runterzubekommen, um den Anflug fortzusetzen.
Wie beschrieben wehrte sich der Autopilot und fuhr in wenigen Sekunden – wie in Moskau – den Trim ganz nach hinten. Als der Autopilot endlich aus war, war die Maschine völlig vertrimmt und bäumte sich auf. Der Anstellwinkel stieg rasch an und die Alpha Floor Protection wurde aktiv (voller Schub auf beiden Triebwerken). Durch das Pitch-up-Moment der Triebwerke und den Misstrim wurde die Maschine unkontrollierbar. Die Strömung riss ab, das Flugzeug kippte nach vorne und konnte nicht mehr abgefangen werden ...

Auch nach diesem Unfall kam es erst mal wieder zu Reaktionen wie nach dem LionAir-Absturz: Es gab Empfehlungen. Mehr als ein Jahr nach dem Unfall wurde in einem Flight Standards Information Bulletin (FSIB vom 15. Mai 1995), NTSB Recommendation A-94-164, lediglich darauf hingewiesen, man solle die Crews besser mit dem Systemverhalten vertraut machen. Es gab zwar einen Hinweis auf das Service Bulletin SB A300-22-6021 von Airbus, von einem verpflichtenden Einbau war aber in diesem Dokument keine Rede. Dennoch wurden nach und nach alle Airbusse A300, A310 und A300-600 modifiziert:

- Taiwan: Am 3. Mai 1994, eine Woche nach dem Unfall, ordneten die Behörden den Einbau des Service Bulletin SB A300-22-6021 in alle Airbusse von China Airlines an, vier Tage später wurde zusätzliches Training für die Piloten verpflichtend. Am 5. September 1995 wurde eine Airworthiness Directive (AD) herausgegeben, die für alle Flugzeuge den Einbau des Airbus SB innerhalb von 24 Monaten vorsah. Bereits am 7. September 1995 waren die Airbusse von China Airlines modifiziert.
- Frankreich: Das französische Bureau d‘enquêtes et d‘analyses pour la sécurité de l‘aviation civile (BEA) machte am 17. August 1995 das Airbus SB zu einer Airworthiness Directive, also verpflichtend.
- Airbus: Airbus änderte das SB am 13. Dezember 1995 auf „mandatory“.
- USA und Japan: Beide Länder gaben ähnliche Airworthiness Directives heraus, in deren Folge erfolgte endlich die Modifikation aller betroffenen Flugzeuge. Die FAA ging zwei Jahre nach dem Unfall noch weiter: Auch der mögliche Misstrim un-

ter 400 Fuß musste wegmodifiziert werden. Seitdem fällt bei allen Airbus Flugzeugen – auch heute beim A380 – der Autopilot raus, wenn an der Steuersäule bzw. am Sidestick eine bestimmte Kraft aufgewandt wird.

Natürlich ist man hinterher schlauer: Alle 264 Insassen des China Airline A300-600 hätten noch leben können, wenn man in Folge des gravierenden Moskau-Zwischenfalls das Airbus Service Bulletin zu einer verpflichtenden Airworthiness Directive gemacht hätte. Eine Frage bleibt offen: Wie kann es sein, dass ein Systemverhalten bei der Verkehrszulassung als unverzichtbar eingestuft wird, später aber ohne weitere Modifikationen einfach entfallen kann? Muss man da nicht die Zulassungskriterien generell hinterfragen?

5. Unfälle durch fehlerhafte Stall Warning

Der Weg zu den automatischen Schutzfunktionen in der A380-Steuerung und in anderen Flugzeugen war lang und gelegentlich auch mit Flugunfällen gesäumt. Warnungen und Schutzfunktionen in Flugzeugen werden nicht zum Spaß eingebaut. Sie sollen Unfälle verhindern. Jeder Pilot kennt z. B. die Stall Warning, die auch in kleinen Flugzeugen eingebaut ist. Ein Überziehen des Flugzeugs ist eine der Hauptursachen der Loss-of-Control-Unfälle, die zum Totalverlust mit einer hohen Zahl an Todesopfern führen können. Daher braucht man sicher die Notwendigkeit einer Warnung vor dem Überziehen nicht zu diskutieren. Man denke nur an Absturz einer Boeing 747 in Nairobi 1974 oder an den Unfall einer MD-82 beim Start in Madrid 2008. Bei der B747 waren die Vorflügel eingefahren, die MD-82 war komplett ohne Klappen gestartet worden und überzog noch über der Startbahn.

Der Respekt vor einem Stall kann so groß sein, dass er Kapitäne drastische Maßnahmen ergreifen lässt, um ihn abzuwenden. So ereignete sich im Juli 1992 folgender Unfall am Flughafen New York, John F. Kennedy:

Der Copilot einer Lockheed Tristar war Pilot Flying. Als er bei VR die Nase des Flugzeugs hochnahm, ging der Stick-Shaker los, eine Überziehwarnung, die durch Mark und Bein geht. Der Kapitän nahm den Stick-Shaker sofort als echte „Stall-Warnung“ an und entschied, den Start abzubrechen. Das Flugzeug hatte bereits eine Höhe von 14 Fuß erreicht und eine Geschwindigkeit von 181 Knoten. Die „Landung“ wurde extrem hart, im Ausrollen fing die Maschine Feuer aus einem leckgeschlagenen Tank. Im Gras neben der Bahn brach das Bugfahrwerk zusammen. Alle 292 Insassen konnten das Wrack evakuieren, bevor es vollständig in Flammen aufging. Dem Flugdatenschreiber konnte später entnommen werden, dass ein Anstellwinkelsensor falsch angezeigt hatte.

Glücklicherweise hatte ich den 1993 veröffentlichten Unfallbericht aufmerksam gelesen und mir für so einen extremen und seltenen Fall eine Entscheidung vorgefertigt (eine sog. canned decision). Bei Stick-Shaker im Take-off würde ich die Vorflügelanzeige ansehen und den Start trotz Stall Warning fortsetzen, wenn dort alles normal wäre.

Im Herbst 1994 war es dann soweit: Als ich eine vollbesetzte Boeing 737 mit maximalem Startgewicht am Flughafen Stockholm-Arlanda zum Start rotierte, ging mit einem

Höllenlärm der Stick-Shaker los. Es war ein voll ausgereizter Start mit „balanced field length“, also ohne die Möglichkeit, jenseits von V1 sicher den Start abzubrechen. Für die Fortsetzung des Starts wartete hinter dem Flughafenzaun eine hohe Waldkante. Die Vorflügelanzeige war grün und ich setzte den Start fort. Ich nahm die Nase herunter, soweit es der Wald vor uns zuließ, und bei etwa 15° Pitch (normale Startfluglage 22°) hörte der Stick-Shaker auf. Am Zielflughafen angekommen fand der Erste Offizier den Rest eines Teebeutels, der am #1 Anstellwinkel-Sensor klebte …

Ein schwedischer SAS-Kapitän, den ich in Stockholm besucht hatte, berichtete mir später, dass es einen ähnlichen Vorfall bei der SAS gegeben habe: Beim Rotieren in Oslo-Fornebu ging der Stick-Shaker los (DC-9, 30. Januar 1973). Der Kapitän brach den Start ab, die Maschine schoss über das Bahnende hinaus auf das Eis des zugefrorenen Oslo-Fjords. Nach der Evakuierung aller Insassen brach das Flugzeug im Eis ein und versank im Meer. Es war eine Fehlwarnung gewesen.

SAS DC-9 „Reidar Viking“ LN-RLM. Diese Maschine ging 1973 bei einem Startabbruch nach Stick-Shaker-Aktivierung verloren.

Wikimedia, Lars Söderström

Es gibt also auch ganz selten mal Fehler im wichtigsten Warnsystem an Bord. Bei kaum einem der mir bekannten Flugzeugtypen gibt es Konzepte, wie man damit umgehen sollte. Die Piloten stehen in einem solchen Fall allein im Regen – oder schwimmen im Meer …

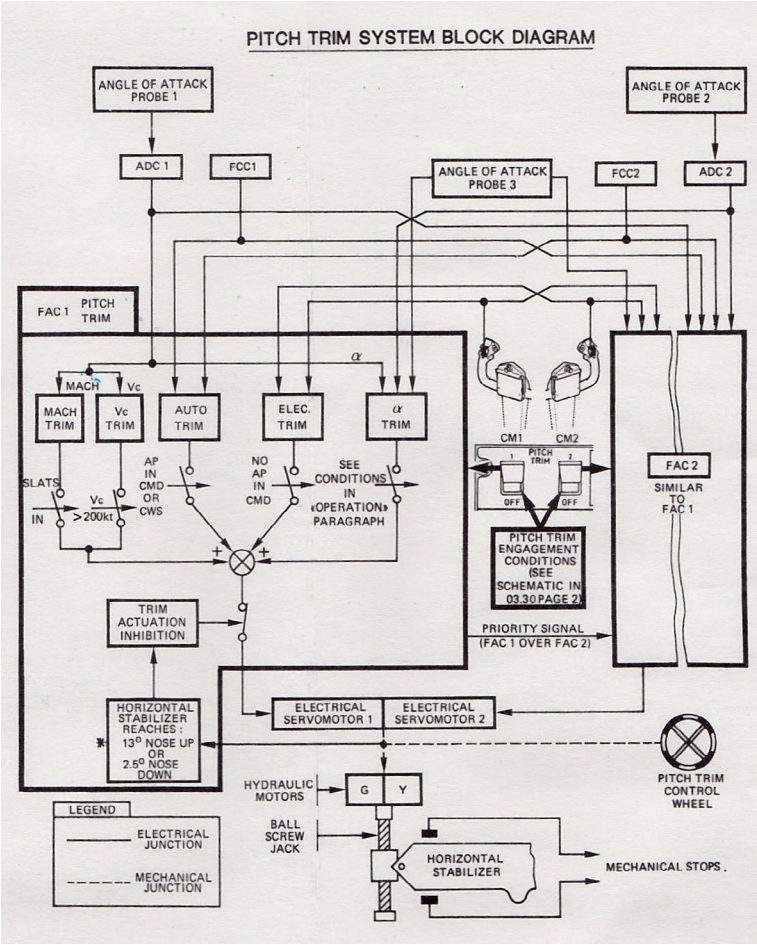
Historisches Design des Alpha-Trim Airbus A310 im Vergleich zum „modernen“ MCAS der Boeing 737 MAX

Der nächste Schritt in der Entwicklung von Schutzfunktionen vor dem Stall war der sog. Alpha-Trim. Ein solches System war im – inzwischen ausgestorbenen – Airbus A310 und dem A300-600 eingebaut (nicht zu verwechseln mit dem oben beschrieben Auto-Trim). Beide Muster bin ich etwa drei Jahre lang geflogen. Beim Alpha-Trim verstellt sich automatisch das Höhenleitwerk (Stabilizer) Richtung nose-down, wenn der Anstellwinkel („Alpha“) zu hoch ist. Die Aktivierung des Alpha-Trims konnte man zwar nicht sehen, aber notfalls übersteuern. Wie das MCAS bei der 737 MAX war der Alpha-Trim des A310 nur im Manual Flight aktiv war.

Der Alpha-Trim des historischen A310 war dem MCAS der modernen B737 MAX für eine sichere Aktivierung haushoch überlegen. Er funktionierte sehr zuverlässig und benötigte – anders als bei der Boeing B737 MAX – zwei gültige Angle-of-Attack-Signale zur Aktivierung. Die A310 Alpha-Trim Authority war deutlich begrenzt (Clean 1,5°, mit Klappen 4°). Ein Vortrimmen bis zum Anschlag war beim Alpha-Trim des A310 nicht vorgesehen. Die Aktivierung des Alpha-Trims hatte einen Anteil an der erfolgreichen Stall-Recovery beim eingangs be-

schriebenen Paris-Orly-Zwischenfall und funktionierte auch über Moskau einwandfrei. Natürlich konnte das System wegen seiner begrenzten Trim-Authority die beschriebenen Upsets wegen Misstrim nicht verhindern.

Der Alpha-Trim des A310 war ein gut durchdachtes System. Mit seinen mehrfach redundanten Sensoren war er ein Vorläufer der später in den Fly-by-Wire-Flugzeugen von Airbus verbauten Angle-of-Attack Protection.



Pitch-Trim-System A310. Der Alpha-Trim benötigte zur Aktivierung mindestens zwei gültige Angle-of-Attack-Signale Quelle: Sammlung Autor

Die Boeing 737 MAX wurde Jahrzehnte nach dem A310 zugelassen. Da stellt sich die Frage, wieso Boeing bei einem System, das massiv in die Flugsteuerung eingreift, wie das MCAS, nicht auf bewährte Designkonzepte redundanter Schutzfunktionen zurückgegriffen hat. Das MCAS, so wie es erst nach dem LionAir B737-8 MAX-Unfall vom 29. Oktober 2018 bekannt wurde, zeigte sich als ein primitives, ungeschütztes und nicht redundantes System. Die Aufregung – gerade in den USA – war nach dem Absturz zu Recht groß, hatte doch Boeing die „Schutzfunktion“ MCAS in keinem ihrer Manuals erklärt. Nicht ein einziger B737 MAX-Pilot wusste davon. Auch die fragwürdige Rolle der FAA bei der Zulassung ist bei Weitem noch nicht geklärt.

Über die 737 MAX wurde bereits ausführlich in *Pilot und Flugzeug*, Ausgabe 2019/02 und 2019/04 gesprochen. Ich möchte daher hier nur wenige Bemerkungen dazu machen.

Es ist völlig unerklärlich, wieso Boeing und die FAA ein Schutzsystem zulassen konnten, das durch einen einzelnen Sensorfehler aktiviert werden kann und das eine Trim-Authority

hat, die das Flugzeug unkontrollierbar machen kann. Eine einfache Fehleranalyse hätte die enormen Risiken des Designs schon während der Entwicklung zeigen können. Die Vorgehensweise von Boeing und der FAA unmittelbar nach dem LionAir-Unfall 2018 zeigt Parallelen zu der zögerlichen Reaktion bei Airbus und den Behörden nach dem A310 Moskau Zwischenfall von 1991: In beiden Fällen glaubte man, mit Informationen an die Crews eine Designschwäche übertünchen zu können – ohne verpflichtende Designänderung. Bei Airbus dauerte es damals drei Jahre bis zu einem tödlichen Unfall (Nagoya 1994). Bei Boeing dagegen ereignete sich ein zweiter Unfall mit derselben Ursache bereits weniger als fünf Monate später. Nun sind erst mal alle 737 MAX gegroundet. Leider zu spät für Crew und Passagiere der verunglückten Ethiopian Airlines …

„The stabilizer can kill." (Aus einem Leserbrief in AvWeb zum LionAir Absturz 2018). Dieses Bild zeigt alles, was von einer B737-800 übrig blieb, die 2016 bei einem Go-around in Rostov abstürzte. Der Trim war – aus bis heute ungeklärter Ursache – bis ganz nach vorne gelaufen.

Foto: MAK, Interstate Aviation Committee

6. Over-Protection

Die Schutzfunktionen in modernen Flugzeugen arbeiten in der Regel sehr zuverlässig und wurden natürlich während der Zulassung ausgiebig getestet. Dennoch zeigten sich in seltenen Fällen nach Jahren sicheren Betriebs unbeabsichtigte Nebenwirkungen, die man als „Over-Protection" bezeichnen kann. Over-Protection führte bereits zu einer Reihe von Unfällen in der Luft- und Raumfahrt, spielt aber auch im täglichen Leben eine Rolle. Der Begriff bedeutet, ein System ist zum Schutz vor einem Fehler so „zuverlässig", dass es über das Ziel hinausschießt und andere Funktionen behindert. Ein paar Beispiele:

In einer Diskothek ist schon mehrmals eingebrochen worden. Daher wurde der Hinterausgang abgeschlossen. Die Diskothek ist nun sicherer. Aber wie unschwer zu erkennen ist, ist nun die Notausgangsfunktion beeinträchtig. Bereits an diesem Beispiel erkennt man das Problem: Over-Protection erkennt man manchmal erst nach Jahren, hier z.B. bei einem Feuer.

Apollo 1-Unfall, drei tote Astronauten: Die Mercury-Kapsel der ersten US-amerikanischen Raumflüge hatte eine Luke, die der Astronaut im Notfall mit einem Schlag auf einen Notschalter ab-

sprengen konnte. Nach der Landung des zweiten Mercury-Flugs im Meer (1961) löste die Sprengladung der Luke aus unbekannter Ursache aus, der Astronaut Gus Grissom wäre dadurch beinahe ertrunken. Beim Apollo-Programm sollte sich so etwas nicht wiederholen. Die Luke der Apollokapsel war auch aus diesem Grund so kompliziert geworden, dass man sie nun nicht mehr schnell öffnen konnte. Als es in der Kapsel von Apollo 1 (1967) zu einem Feuer kam, kamen Gus Grissom und zwei andere Astronauten ums Leben. Die Luke wurde erneut umkonstruiert.

Over-protected: A320 Lande-Unfall Warschau, 14. September 1993

Bei diesem Lufthansa A320-Unfall wurden 54 Menschen schwer verletzt, ein Passagier und der Trainingskapitän kamen ums Leben. Das Flugzeug wurde zerstört und brannte aus. Wie bei den meisten schweren Unfällen gab es eine ganze Reihe von Ursachen, die erst in ihrer Summe zu dem tödlichen Resultat führten. So erfolgte die Landung mit zu viel Rückenwind, der vom Tower gemeldete Wind entsprach nicht dem angetroffenen, der Anflug wurde trotz einer Warnung vor einer schweren Windscherung fortgesetzt, die Landebahn war überflutet, eine starke Regenfront zog über den Platz, die Crew soll nach „Platz in Sicht“ das Wetterradar ausgeschaltet haben, die Griffigkeit der Landebahn war schlecht, in der Sicherheitszone hinter der Landebahn war ein Erdwall … und dann verhinderte eine Schutzfunktion im A320 zunächst sämtliche Verzögerungsversuche der Crew: Die Störklappen fuhren nicht aus, der Umkehrschub ging ebenso wenig wie die Bremsen.

Erst nach dem Unfall wurde klar, dass auf jedem der beiden Hauptfahrwerksbeine ein Gewicht von ca. 6 Tonnen liegen musste, um das Flugzeug in den Boden-Modus umzuschalten. Das Airbus-Handbuch war in so schlechter Formulierung und in dem üblichen „Airbus Englisch“ verfasst, dass man bei Lufthansa glaubte, die Belastung eines Fahrwerksbeins reiche dafür aus. Nur so kam es dazu, dass die A320-Piloten bis zu dem Unfall bei Seitenwind bevorzugt auf die Wing-Low-Methode geschult wurden. Diese Landetechnik war aber mit dem Design der Air-Ground-Logic nicht kompatibel.

Nach dem Unfall wurde die Air-Ground-Logic von Airbus geändert. Nun reichte die Belastung eines Fahrwerksbeins mit geringerem Gewicht (ca. 2 Tonnen) für die Einleitung der Verzögerung. Es ist menschlich, wenn jeder zuerst nach den Fehlern bei den anderen sucht: So nennt zum Beispiel der polnische Untersuchungsbericht nicht den Erdwall am Bahnende in der Liste der Ursachen, obwohl der da nicht hingehörte und erst durch diesen das Flugzeug zerstört wurde.

Airbus war ebenso wenig gewillt, Verantwortung einzugestehen. In einem Interview mit dem Magazin „Der Spiegel“ wies Bernhard Ziegler von Airbus[1] darauf hin, dass bei dem Unfall viele äußere Faktoren eine Rolle spielten. Der Spiegel warf ihm darauf vor, den Piloten die Schuld in die Schuhe schieben zu wollen, was Ziegler von sich wies.
Dennoch behauptete Ziegler, die Umprogrammierung der Schutzfunktion sei nicht durch

1) „800 Tote sind zuviel“, Spiegel-Gespräch mit Berhard Ziegler, früher Airbus Chief Test-Pilot, später Senior Vice President for Engineering, Der Spiegel 33/1994, Link am Ende des Artikels)

den Unfall erforderlich geworden, sondern sei lediglich auf Wunsch der Lufthansa erfolgt. Inzwischen wird der A320 nur noch mit der neuen Logik geflogen. Seitdem hat sich ein ähnlicher Unfall nicht mehr ereignet. Das Interview mit Bernhard Ziegler ist lesenswert, ich möchte noch eine Aussage zitieren:

> *„Wir erheben den Anspruch, Flugzeuge nach dem höchst möglichen Sicherheitsstandard zu bauen. [...] Bedauerlicherweise sind Unfälle niemals auszuschließen. Allerdings müssen wir jedes Unglück sorgsam auf seine Ursachen hin untersuchen und prüfen, ob und wie es durch Modifikationen am Flugzeug zu verhindern ist.“*

So machen es sicher alle Hersteller. Die Airbus-Aussage von 1994 deckt sich übrigens zu 100 Prozent mit einer Stellungnahme von Boeing nach dem LionAir-Absturz. Dennoch zeigt sich immer wieder, dass manche Änderungen viel zu spät und oft erst nach Einschreiten der Zulassungsbehörden vorgenommen werden. Wirtschaftliche Erwägungen spielen bei Änderungen natürlich auch eine große Rolle.

Das Interview mit Bernhard Ziegler ist heute wieder aktuell, denn es wurde auch über das Training der Crews gesprochen. Die Hersteller wollen natürlich die Trainingskosten für die Airlines so gering wie möglich halten, vor allem bei Umschulungen auf neue Varianten. Das war und ist bei Airbus so und wird zurzeit – nach den beiden B737 MAX Unfällen – wieder heftig diskutiert. Die Umschulung von der B737 NG auf die B737 MAX erforderte z. B. bei einer U.S. Airline lediglich eine Stunde Studium auf einem iPad. Simulatortraining war nicht vorgesehen.

Over-protected: A320 Lande-Unfall Bilbao, 7. Februar 2001

14 Jahre nach dem Erstflug des A320 zeigte sich erneut, dass sich für Piloten und Airlines „unsichtbare“ Softwarefunktionen manchmal erst viele Jahre nach Indienststellung eines Flugzeuges als gefährlich entpuppen können. Diesmal war ein A320 der Iberia betroffen, der in Bilbao bei der Landung verunglückte. Bei dem Unfall gab es einem Schwer- und 24 Leichtverletze, das Flugzeug musste als Totalverlust abgeschrieben werden. Was war passiert?

Der 7. Februar 2001 war ein außergewöhnlich stürmischer Tag in Bilbao. Wer schon mal dort gelandet ist, weiß, dass Sturm in Bilbao in dem bergigen Gelände zumeist mit heftigen Turbulenzen und Windscherungen verbunden ist. An dem Tag gab es daher Go-arounds und auch sechs Diversions.

Der Copilot flog die Maschine und durchflog kurz vor der Runway ein Aufwind- und dann sofort ein Abwindfeld. Der Stick-Input wechselte rasch von Nose-down im Aufwind zu Nose-up im Abwind. Die Sinkrate erhöhte sich auf 1.200 ft/min, was zur der GPWS-Warnung „Sinkrate!“ führte. Nun zog auch der Kapitän an seinem Sidestick (mit dem Auto-callout „Dual Input!“) und in 50 Fuß wurden beide Schubhebel bis zum Anschlag nach vorne in die Go-around-Raste gelegt, um den Anflug abzubrechen. Obwohl beide Piloten den Sidestick gezogen hielten, nahm das Flugzeug die Nase herunter und schlug extrem hart auf der Landebahn auf (mit 4,75g). Der Go-around war damit erledigt, das Flugzeug auch: Das Bugfahrwerk war sofort zusammengebro-

chen, alle Hauptfahrwerksreifen geplatzt. Nach dem Stillstand des Wracks wurde eine Evakuierung eingeleitet.

Die spanische Behörde CIAIAC, die den Unfall untersucht hatte, veröffentlichte später als Ursache:

> *„The cause of the accident was the activation of the angle of attack protection system which, under a particular combination of vertical gusts and windshear and the simultaneous action of both crewmembers on the sidesticks, not considered in the design, prevented the aeroplane from pitching up and flaring during the landing.“*

Dabei hatte es Airbus eigentlich gut gemeint: Der A320 war als im Normalbetrieb „nicht überziehbar“ ausgelegt worden. Zuständig für den Schutz vor dem Stall war und ist bei Airbus Fly-by-Wire-Flugzeugen die Angle-of-Attack Protection in den Flight-Control-Computern. Ich habe diese Funktion in meinem Artikel „Das A380 Flight Control System“, ***Pilot und Flugzeug***, Ausgabe 2019/03 beschrieben: Den Piloten ist es nicht möglich, mit dem Sidestick den sog. Alpha Max, also den höchstmöglichen Anstellwinkel, kurz vor dem Stall zu überschreiten.

Nun wollten die Airbus-Ingenieure beim A320 aber mehr als nur diese „einfache“ Limitierung. Nach dem Motto „Auch der Versuch ist strafbar“ sollte die Protection auch dann ansprechen, wenn es einen sehr schnellen Anstieg des Anstellwinkels gab. Die Protection aktivierte also auch dann, wenn die Berechnung ergab, dass in der Zukunft Alpha Max erreicht würde, wenn das so weiter ging.

Die Formel dazu lautete (mit f einem Faktor der Sidestick-Position):

$$\alpha_{anticipated} = \alpha_{actual} + d/dt\,(\alpha) \cdot f > \alpha_{prot}$$

Der zusätzliche in die vermeintliche Zukunft blickende Term in dieser Formel hielt dem Praxistest in Bilbao nicht stand. Obwohl Alpha Max in dieser Flugphase 15° gewesen wäre, erreichte der Anstellwinkel während dieser „Landung“ maximal 10°. Der vorausschauende Term, der eigentlich das Flugzeug bei aggressiven Stick-Inputs der Piloten schützen sollte, verhinderte in dieser speziellen Konfiguration den Flare und zerstörte das Flugzeug.

Ironischerweise kam direkt nach dem Aufschlag die Nase des A320 noch mal kurz hoch: Mit der unübersehbaren finalen Aktivierung des Ground-Laws wurde die Angle-of-Attack Protection – wie immer – deaktiviert. Der Flieger gab die Kontrolle an die Piloten zurück. Leider zu spät.

In Folge des Unfalls gab es eine Zeit lang Einschränkungen im Betrieb des A320. So durften bei schlechtem Wetter nur Flaps 3-Landungen gemacht werden und es wurden Speedzuschläge verlangt. Erst mit dem ELAC[2] Standard L81, der im September 2001 als Service Bulletin herauskam und sofort als von den Zulassungsbehörden als „Mandatory“ eingestuft wurde, konnten die Beschränkungen aufgehoben werden. Im ELAC Standard L81 wurde u. a. der „vorausschauende“ Term in der Formel eliminiert, um bei turbulentem Wetter eine Wiederholung des Unfalls zu verhindern.

2) ELAC – Elevator Aileron Computer, einer der Flight Control Computer des A320.

7. Sensor Failure

Unreliable Airspeed, also fehlerhafte Geschwindigkeitsanzeigen, haben leider schon zu schweren Unfällen geführt. Hier die drei gravierendsten Unfälle:

- Birgen Air Boeing B757, 6. Februar 1996, 189 Tote:
  Die linke Pitot-Tube war mit Insekten verstopft. Die Crew verlor die Kontrolle fünf Minuten nach dem Start.

- Aeroperu Boeing B757, 2. Oktober 1996, 70 Tote:
  Die Wartung hatte die Static-Ports abgeklebt. Die Crew verlor die Kontrolle 25 Minuten nach dem Start.

- Air France Airbus A330, 1. Juni 2009, 228 Tote:
  Ice Cristal Icing an den Pitot-Tubes. Die Crew verlor die Kontrolle im Reiseflug über dem Atlantik.

Bei diesen drei Unfällen starben 487 Menschen. In allen drei Fällen war die Steuerung des Flugzeugs voll funktionstüchtig, lediglich die Air-Data-Anzeigen waren teilweise fehlerhaft. Die Unfälle haben zu einem kompletten Umdenken im Training der Piloten geführt. Heute wird sowohl großer Wert auf das Training von „Unreliable Airspeed“ gelegt als auch vermehrt manuelles Fliegen geübt, auch in großen Höhen.

Zu welchen verwirrenden Situationen es bei solchen Fehlern im Cockpit kommen kann (und zu Fallbacks zu alten Verhaltensmustern, wie anfangs bei dem A310-Anflug auf Paris beschrieben), zeigt ein Beispiel, ebenfalls von 2009: Eine Ghana International Boeing 757 war mit einer blockierten Pitot-Tube in Accra gestartet. An einer Stelle im Kampf mit diversen Fehlern übernahm der Copilot die Kontrolle, schaltete den fehlerhaft arbeitenden Autopiloten aus und drückte die Nase runter. Der Kapitän, der die Übernahme nicht mitbekommen hatte, meinte, der Stick-Pusher sei aktiviert worden. Nun hat die 757 gar keinen Stick-Pusher, wohl aber Flugzeugtypen, die der Kapitän vorher geflogen hatte …
Unreliable Airspeed, so verwirrend sich dabei mehrfache Fehlanzeigen, Fehlermeldungen und Audiowarnings im Cockpit bemerkbar machen, wird in den Airliner-Cockpits inzwischen gut verstanden und abgehandelt. Es ist auch nichts Magisches dabei: Nichtstun – liegt mir sehr – ist eine gute Erstmaßnahme: Also aktuelle Fluglage und Power beibehalten. Notfalls müssen dazu der Autopilot und der Autothrust ausgeschaltet werden. Erkennen die Computer von selbst Fehler in zwei der drei Air-Data-Computer, z. B. beim A380, den ich zurzeit fliege, ist der Drops gelutscht: Der Autopilot fällt aus und die Flight Control Laws wechseln von Normal Law ins Alternate Law. Das ist ein wichtiger Schritt, denn im Alternate Law gibt es keine Protections, die die Piloten nicht übersteuern könnten. Danach arbeitet man die Checkliste ab …

Mehrfache identische Sensorfehler

Identische Sensorfehler sind in modernen Fly-by-Wire-Flugzeugen besonders kritisch, denn sie können vom System nicht erkannt werden. Solche Fehler können falsche Schutzfunktionen auslösen, die die

Piloten – zumindest bei Airbus-Flugzeugen – nicht überbrücken können. Identische Mehrfachfehler lagen z. B. bei der Aeroperu Boeing B757 vor, die 1996 verunglückt war. Alle Static Ports waren abgeklebt gewesen. Daher bekamen alle Air-Data-Computer dieselben Static-Pressure-Daten (Platzhöhe). Ein Vergleich dieser Daten, wie er z. B. beim A380 erfolgt, würde u. U. keine Fehler auswerfen. Unter solchen Voraussetzungen könnte aus einer Unreliable-Airspeed-Situation bei Airbus-Flugzeugen schnell eine lebensbedrohliche Situation entstehen: Die Overspeed Protection würde bei falsch angezeigter, zu hoher Geschwindigkeit einfach die Nase hochziehen, ohne dass die Piloten dagegen steuern können. Vielleicht ist das der Grund, warum der A380 – in meinem Artikel in *Pilot und Flugzeug* 2019/03 habe ich das beschrieben – keine Overspeed Protection in Bezug auf Ladeklappen-Speed Limits hat. Erst wenn die angezeigte Geschwindigkeit VMO/MMO deutlich überschreitet, könnte es zu dieser Situation kommen.

Dagegen können identische falsche Angle-of-Attack-Daten zur fehlerhaften Aktivierung der Angle-of-Attack Protection führen. Das Flugzeug würde dann die Nase runternehmen – egal wie tief man gerade fliegt –, ohne dass der Pilot eingreifen kann.

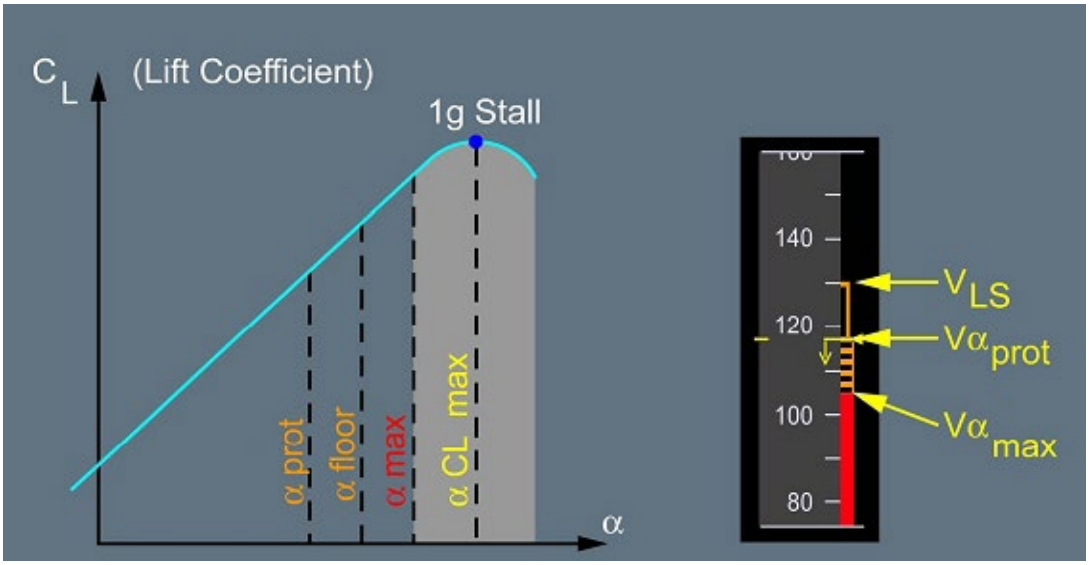
Es gibt auf dem A380 keinerlei Procedures, wie man mit diesen Situationen umgehen soll. Dennoch weiß inzwischen jeder Airbus-Pilot, wie man die Protections im absoluten Notfall deaktivieren kann: Wenn man zwei beliebige Air-Data-Computer ausschaltet, haben die Daten die Redundanz verloren, und die Flight-Control-Computer wechseln ins Alternate Law.

Airbus glaubte übrigens – wie Boeing bis zu dem LionAir-Crash –, dass die Angle-of-Attack-Daten „niemals lügen“. Folglich gibt es bis heute kein Notverfahren für eine fehlerhafte Aktivierung der Angle-of-Attack Protection beim A380. Umso wichtiger ist es daher, zu wissen, wie man dennoch aus einer solchen Situation herauskommt. Schon 2002 haben wir im A340-Simulator diese

General view of the sensor (presence of white paint)

Local damage to the casing

Eine der aus dem Meer geborgenen AOA Probes des am 27. November 2008 abgestürzten A320. Das Design ließ zu, dass beim unsachgemäßen Waschen des Flugzeugs Wasser in die Sensoren kam, das im Flug gefror.
BEA Unfallbericht



Ohne Sidestick-Ausschlag nach vorne verbleibt in manchen Airbus-Versionen nach kurzer Überschreitung von „Alpha prot" in Turbulenz die Steuerung im Angle-of-Attack-Modus. Die Folge: ein plötzlicher unkommandierter Steigflug ...

Situation trainiert – noch bevor Airbus gemerkt hat, dass es so etwas tatsächlich einmal geben könnte.

Meinem Sohn, der bis vor Kurzem A320 flog, hatte ich damals geraten, bei plötzlicher, fehlerhafter Aktivierung der Overspeed- oder Angle-of-Attack Protection schnell zwei Air-Data-Computer auszuschalten. Bei einem Simulator-Ereignis im A320 hat er das dann gemacht, als kurz nach dem Start das Flugzeug unkontrollierbar die Nase hochnahm. Der Trainingskapitän meinte nachher, das würde kaum jemand wissen. Etwa 90 Prozent der Crews, denen er damals diesen Fehler eingab, hätten die Kontrolle über das Flugzeug verloren.

Inzwischen hat es einige wenige Ereignisse gegeben, bei denen identische falsche Angle-of-Attack-Signale zu Zwischenfällen und einem Unfall geführt haben:

- Air New Zealand A320 nahe Perpignan am 27. November 2008 – Stall und Absturz ins Mittelmeer.
- Lufthansa A320 nahe Bilbao am 5. November 2014 – Maschine verlor 4.000 ft Höhe (mit 4.000 ft/min) im Reiseflug nach falscher Aktivierung der Angle-of-Attack Protection.

Bei beiden Vorfällen stellte sich heraus, dass die Angle-of-Attack-Sensoren intern vereist waren und zwei davon mit identischen Daten eingefroren waren. Der einzige Sensor, der noch richtig anzeigte, wurde durch das System-Design „abgewählt".

Nach dem Lufthansa-Vorfall gab die EASA eine Emergency Airworthiness Directive heraus. Die Piloten mussten auf die korrekte Reaktion auf solchen Vorfälle hingewiesen werden. In der Anweisung hieß es unter anderem:

> *„This condition, if not corrected, could result in loss of control of the aeroplane."*

Airbus hat seitdem jeweils ein OEB (Operations Engineering Bulletin) in den Handbüchern der A320-Serie sowie in den Manuals des A330 und A340 herausgegeben. Darin wird das empfohlen, was wir schon 2002 auf dem A340 trainiert haben: Zwei Air-Data-Computer OFF, einen anlassen, um die Maschine ins Alternate Law zu zwingen. Für den A380 und A350 gibt es von Airbus für die Piloten immer noch keine Hinweise zu diesem Thema.

Ein Design-Feature verursacht ungewollten Pull-up

Beim A320 kam es in der Vergangenheit zu einem ungewollten Pull-up beim Flug durch Turbulenz (ohne Steuerinput). Es lag keine Overspeed vor und alle Systeme arbeiteten normal. Ursache war ein Wechsel der Steuerung von „g-load command“ nach „angle-of-attack command“ durch eine Bö. Kurzzeitig wurde der mit „Alpha Prot“ bezeichnete Anstellwinkel überschritten. Das kann zu einem plötzlichen ungewollten steilen Steigflug führen, wenn der Pilot nicht sofort nachdrückt. Obwohl das sinnfreie Verhalten bekannt ist, ist es immer noch nicht auf allen Airbus-Versionen geändert. Auch die Beschreibung im Handbuch dazu ist in einigen Versionen des A320 falsch.

„Ohne Pilot über den Wolken“

Unter dieser Schlagzeile fand ich während der ersten Arbeiten an diesem Artikel einen Bericht in der Frankfurter Rundschau[3]. Chief Technology Officer of Airbus, Frau Grazia Vittadini, die auch im Airbus-Vorstand ist, meinte in Bezug auf Verkehrsflugzeuge: „Wir verfolgen die Vision des autonomen Fliegens“. Schrittweise soll die Automation im Cockpit weitere Aufgaben des Piloten übernehmen. „Im ersten Schritt wollen wir daher erreichen, dass für den regulären Betrieb nur ein Pilot ausreicht.“ Der erste Applaus kam von der Lufthansa. Ein Sprecher im selben Artikel: „Die Frage ist nicht, ob das autonome Fliegen kommt, sondern wann das autonome Fliegen kommt.“ Man erhoffe sich Kosteneinsparungen, so in dem Artikel weiter, wenn weniger Piloten vorne sitzen.

Nun ist es nicht das erste Mal, dass über dieses Thema mit Journalisten diskutiert wird. Verkannt wird aber, dass sich viele Experten einig sind: Billig würde so ein Vorhaben ganz sicher nicht. In diesem Artikel habe ich an vielen Beispielen gezeigt, dass das Design selbst modernster Verkehrsflugzeuge immer wieder Bugs enthält, die sich oft erst Jahre nach der Indienststellung zeigen. Manchmal gelingt es Piloten sogar, solche Fehler aufzufangen. Ohne Piloten hätte Airbus zwar den Pilots-Error aus dem Flugzeug entfernt, würde aber die Passagiere einem Design mit unbekannten Bugs aussetzen, die nie ganz vermeidbar sein werden. „Pilots-Error“ würde ersetzt durch „Design-Error“.
Der Ingenieur Mackall, der am Flight-Test-Programm der AFTI-F16[4] beteiligt war, schrieb zu den gefundenen und nicht gefundenen Fehlern im System[5]:

3) Link dazu am Endes Artikels

4) AFTI/F-16 – Advanced Fighter Technology Integration, Test-Programm der NASA ab 1982

5) Anomalies in Digital Flight Control Systems (DFCS)

„The criticality and number of anomalies discovered in flight and ground tests owing to design oversights are more significant than those anomalies caused by actual hardware failures or software errors.“ [...]
„... qualification of such a complex system as this, to some given level of reliability, is difficult ... [because] the number of test conditions becomes so large that conventional testing methods would require a decade for completion. The fault-tolerant design can also affect overall system reliability by being made too complex and by adding characteristics which are random in nature, creating an untestable design.“

Gerade der letzte Satz findet sich auch in Studien zu autonomen Verkehrsflugzeugen wieder: Das Design würde so komplex, dass es nicht mehr testbar sein würde.

Wir wissen, dass in der Luft- und Raumfahrt ausgiebig getestet wird. Bei Verkehrsflugzeugen sind die Anforderungen an die Sicherheit so hoch, weil Menschen drin fliegen, in der unbemannten Raumfahrt, weil die Kosten so hoch sind.

In Französisch-Guayana stand am 4. Juni 1996 die Ariane 5 zu ihrem ersten Start in den Weltraum bereit. Die Entwicklung der Rakete hatte etwa 7 Mrd. US-Dollar gekostet. Da versteht es sich von selbst, dass dieses teure System vor dem Start auf Herz und Nieren geprüft wurde, oder? Nur 37 Sekunden nach dem Start gingen die steuerbaren Triebwerke plötzlich in den Endanschlag, die Rakete legte sich quer und explodierte. In einem Computer war es zum „Überlauf“ einer Variablen gekommen, der sämtliche Flight-Control-Computer beeinflusste.
Der Verlust der ersten Ariane 5 wird als teuerster Computer-Bug aller Zeiten gehandelt. Der direkte Schaden betrug – je nach Quelle – zwischen 370 und 500 Mio. US-Dollar.
Manchmal dauert es etwas länger als 37 Sekunden, bis man einen Software-Bug bzw. ein ungünstiges Design findet: Beim A320 zum Beispiel dauerte es nach dem Erstflug knapp 14 Jahre, bis mit der Zerstörung eines Iberia A320 in Bilbao eine Designschwäche in der Angle-of-Attack Protection entdeckt wurde.
Entscheiden Sie selbst: Würden Sie Ihre Lieben in ein unbemanntes Verkehrsflugzeug setzen?

Royal Air Force über dem Schwarzen Meer ...

Bei aller Kritik an den neuen Risiken, die sich durch Schutzfunktionen in modernen Verkehrsflugzeugen ergeben, ist eines jedoch sonnenklar:
Die Protections in Verkehrsflugzeugen sind für einen sicheren Flugbetrieb heutzutage unentbehrlich. Und sie funktionieren tatsächlich. Um das zu zeigen, steigen wir doch mal bei der Royal Air Force ein:

Alles sah nach einem ruhigen Flug aus. Ein Airbus A330 MRTT (Multi Role Tanker Transport) der Royal Air Force flog in 33.000 Fuß über dem Schwarzen Meer. Die Militärmaschine mit 198 Insassen war auf dem Weg von England nach Afghanistan. Der Kapitän war alleine im Cockpit, der Copilot schon seit 18 Minuten in der vorderen Galley, als ein Ruck durch die Maschine ging:

Unvermittelt senkte sich die Flugzeugnase nach unten, der A330 ging in einen Sturzflug über. Alle Insassen, die nicht angeschnallt waren, klebten unter der der Kabinendecke. Die Vertikal-Beschleunigung erreichte minus 0,58g, die Sinkgeschwindigkeit 15.800 ft/min. Der Kapitän zog sofort den Sidestick bis zum Anschlag zurück, drückte mehrfach den Autopilot Disconnect Button – ohne jeden Effekt.
Als der Copilot – entlang der Kabinendecke – wieder ins Cockpit gelangte, bot sich ihm eine chaotische Situation: Lärm, Warnlichter – und das Flugzeug schüttelte sich. Er stieß sich von der Decke ab, bekam seinen Sidestick zu fassen und zog ihn ebenfalls nach hinten – auf dem Cockpit Voice Recorder hörte man später die zugehörigen Auto-Callouts: „Dual Input!, Dual Input!“ sowie „Priority Right!“.
Die Maschine nahm die Nase mit fast 2 g Belastung wieder hoch. Sie hatte im Sturzflug alle Speed Limits durchbrochen, eine IAS von 358 Knoten erreicht sowie eine Machzahl von 0,9.
Es war aber nicht der Copilot, der Flugzeug und Passagiere gerettet hatte: Das Flugzeug wurde durch die automatischen Protections der Flight Control Laws abgefangen. Im Unfallbericht sollte es später heißen:

> *„Without pitch-down protection and high-speed protection the Panel assessed that the certified limits [...] would have been exceeded by a significant margin, potentially leading to significant damage to the aircraft.“*

Bis die Ursache für den Unfall mit 33 Verletzten (eine am Sidestick verklemmte Kamera) gefunden werden konnte, setzte die RAF alle Flüge mit dem A330 MRTT aus. Der Unfall ist ein starkes Beispiel für sinnvolle Protections. Es war das erste Mal seit Einführung des Airbus Fly-by Wire-Kontrollsystems, dass mehrere Design-Features zusammen dazu geführt haben, dass ein Totalverlust verhindert wurde: G-Load-Protection, nicht überdrückbare Pitch Attitude Protection, Overspeed Protection und die nicht miteinander verbundenen Sidesticks.
Auch zu diesem Unfall hatte „Mode Confusion“ beigetragen: Der Kapitän glaubte bis zuletzt, der Autopilot sei noch eingeschaltet gewesen (war er nicht) und habe den Sturzflug verursacht.

Relevanz für die Allgemeine Luftfahrt

In diesem Artikel habe ich Unfälle und Zwischenfälle aus der Verkehrsluftfahrt vorgestellt. Das liegt daran, dass diese Fälle besonders gut untersucht wurden und dokumentiert sind. Die beschriebenen Probleme treten jedoch auch in der General Aviation auf, z.B. hier:

Am 29. Dezember 2016, in dunkler Nacht, stürzte ein Pilot mit seinem neuen voll funktionsfähigen Jet, einer Cessna 525C Citation CJ4, in den Erie See[6]. Der Flug dauerte weniger als 90 Sekunden. Beitragend zu dem Unfall war das Panel Layout. Bei der Schulung auf das Flugzeug hatte der Pilot regelmäßig in 300 Fuß den Autopilot eingeschaltet. Der Knopf für den Autopilot war aber bei diesem Flugzeug an einer ande-

6) “Buttonology - Minor differences in panel layout can have major consequences”, Artikel in AOPA Pilot, February 2019

Der Cirrus-Jet wurde am 18. April von der FAA gegroundet, da ein Schutzsystem mehrere unerwünschte Pitch-down-Impulse auslöste. Bild: Markus Eigenheer / wikimedia

ren Stelle als in der Cessna 510 Mustang, dem Flugzeug, das er vorher geflogen war. Außerdem war die Anzeige des Horizonts anders.

Jan Brill schrieb mir in einer E-Mail zum Thema: „Eine Ursache, die immer mit dabei ist: Ein wesentliches Stückchen Information (z.B. A/P AUS) wird im Wust der Daten einfach nicht wahrgenommen. [...] Ist natürlich vorrangig bei Single-Pilot OPS ein Problem."

Jeder von uns hat schon einmal Ähnliches erlebt. So erinnere ich mich, in meiner Arrow mit dem HSI einen Localizer Approach begonnen zu haben, um dann festzustellen, dass die „Source" für das HSI nicht auf VOR/LOC, sondern noch auf NAV stand. Nicht immer wirken sich solche Pilotenfehler negativ auf den Ausgang des Fluges aus. Dennoch, die Zahl der Unfälle in der General Aviation, besonders im Single Pilot Cockpit, durch Mode Confusion und merkwürdiges Design kann nicht vernachlässigt werden.

Angesichts des Designs einer B737 MAX, bei dem ein einfacher Sensorfehler zur fehlerhaften Aktivierung einer Schutzfunktion führt, mag der eine oder andere sprachlos mit dem Kopf schütteln. Vergessen dürfen wir aber nicht, dass inzwischen auch Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt moderne Schutzfunktionen enthalten. Zum Beispiel die neuen Garmin-Autopiloten mit der Electronic Stability & Protection (ESP). Dieses System sei zwar vom Piloten übersteuerbar, so das Handbuch, aber ein Fehler in nur einem einzigen Sensor könnte dazu führen, dass der Autopilot in Flare die Nase runterdrücken will.

Fehlaktivierungen einer Schutzfunktion in der GA hat es inzwischen bereits dreimal im Cirrus Vision Jet gegeben. Mit der Emergency Airworthiness Directive (AD) 2019-08-51 vom 18. April 2019 hat die FAA jetzt alle Cirrus Vision Jet gegroundet. In der AD heißt es zu den Vorfällen:

> *„While the airplane was under manual pilot control, the airplane activated several downward pitch commands coincident with stall warning, stick shaker, and several associated alerts.“*

Der Pitchdown konnte jeweils durch Drücken und Halten des Autopilot Disconnect Button gestoppt werden. Nun müssen in der ganzen Flotte die Angle-of-Attack-Sensoren gewechselt werden. Das beseitigt aber nicht das grundsätzliche Problem: Es gibt inzwischen automatische Systeme, die ohne Redundanz mit nur einem Sensor direkt in die Steuerung eingreifen können.

Fazit

Einige der Vorfälle hatten mit Fehlern der Sensoren zu tun. Das ist leider nichts, was man weg-designen könnte. Nahezu alle Sensorfehler, die zu Unfällen oder Zwischenfällen geführt haben, wurden durch äußere Einflüsse verursacht: Vereisung, Wartungsfehler, Insekten, Vogelschlag, Teebeutel, zerstörtes Radome nach Blitzschlag, Hagel oder Kollision. Allein deswegen halte ich auch in Zukunft Piloten im Cockpit für erforderlich.

Bei allen Bemühungen, es gibt einiges zu verbessern:

- Die Aufsichtsbehörden sollten noch mehr als bisher auch Zwischenfälle in der Luftfahrt untersuchen. So wäre vielleicht ein Eingreifen möglich, bevor sich ein Fehler im Design von Flugzeugen in einem Unfall zeigt. Piloten sollten auch solche Zwischenfälle melden, die nicht zu einem Unfall geführt haben, um die Datenbasis zu verbessern. Zweifel an der Sicherheit können Piloten nicht nur bei ihrer Airline, sondern auch bei den Zulassungsbehörden anbringen. Wichtig zu wissen: Jede Aktivierung einer Schutzfunktion im Cockpit ist meldepflichtig.

  Die Zulassungsbehörden könnten das Fliegen auch sicherer machen, wenn sie Systeme, die in der Allgemeinen Luftfahrt als sicherheitsfördernd schon weit verbreitet sind – wie die Angle-of-Attack-Anzeige – in Verkehrsflugzeugen zwingend vorschreiben würden. So ist zwar für die 737 MAX eine Angle-of-Attack-Anzeige verfügbar, aber nur als kostenpflichtiges Extra.

- Die Hersteller müssen noch mehr unternehmen, um ihre Flugzeuge sicherer zu machen. Mehr Automation ist nicht immer der richtige Weg. Der Pilot-in Command muss immer im Loop bleiben – und wie der Name sagt – in Command sein. Sicherheitseinrichtungen müssen einfach, unkompliziert, leicht zu verstehen, und vor allem gut dokumentiert sein. Sensoren müssen robuster werden, symmetrische Fehlmessungen

besser erkannt werden.

- Die Piloten: Ein Cockpit mit zwei Piloten ist in Verkehrsflugzeugen wegen der Redundanz unverzichtbar. Die Untersuchungskommission des oben beschriebenen R.A.F.-Unfalls mit dem A330 hat die Tatsache, dass der Kapitän allein im Cockpit war, als beitragend zu dem Unfall aufgeführt.

- Das Training muss verbessert werden. Verkehrspiloten erhalten inzwischen ein sehr gutes Upset-Recovery- und Stall-Recovery-Training im Simulator. Auch das Thema Schub bei tiefhängenden Triebwerken wird gut trainiert. So muss u.U. bei der Stall Recovery der Schub reduziert werden, um die Nase herunter zu bekommen. Ein Thema wurde allerdings bis heute aus diesem Training ausgeklammert: Nach mehreren Loss-of-Control-Unfällen wurde der Trim (gehört immerhin zu den Primary Flight Controls) ganz hinten (A310, A300-600, A320) oder ganz vorne (B737-800, B737 MAX) vorgefunden. Dennoch wird das Thema Trim bei der Upset- bzw. Stall-Recovery weder in den Unfallberichten noch im Training thematisiert.

Auch in der General Aviation gab es Unfälle, bei denen die Piloten bei der Stall Recovery nicht getrimmt haben. Zuletzt geschehen 2017 bei einem Mooney-Unfall in den Alpen mit Vereisung.[7] Am Unglücksort wurde der Trim am hinteren Anschlag vorgefunden.

Auch in der General Aviation gab es Unfälle, bei denen die Piloten bei der Stall Recovery nicht getrimmt haben. Zuletzt geschehen 2017 bei einem Mooney-Unfall in den Alpen mit Vereisung. Am Unglücksort wurde der Trim am hinteren Anschlag vorgefunden.

Manual Trim bei Airbus im Direct Law.

Hier muss etwas geändert werden. Airbus-Piloten wird beim täglichen Fliegen systematisch das Trimmen abtrainiert. Trimmen kann und muss man Airbus Fly-by-Wire-Flugzeuge nur im Direct Law. In 18 Jahren auf Airbus-Langstrecken-Flugzeugen bin ich vielleicht lediglich 30 Minuten im Direct Law (im Simulator) geflogen. Selbst nach gutem Briefing vergisst man leicht das manuelle Trimmen. Die Steuerkräfte am Sidestick sind bis zum Vollausschlag so leicht, dass es keine natürliche Reaktion mehr ist, diese Kräfte wegzutrimmen. Beim Airbus-Absturz ins Mittelmeer 2008 kam die Maschine auch deshalb in den zweiten, tödlichen Stall, weil nach dem unbemerkten Wechsel ins Direct Law bis zum Aufschlag nicht nach vorne getrimmt wurde, obwohl der Trim ganz hinten war. Das wird zum einen beim Upset-

7) Link zum Abschlussbericht im Anhang

Recovery-Training nicht trainiert, zum anderen wird der Schriftzug „USE MAN PITCH TRIM“ im PFD genau da angezeigt, wo ansonsten die Autopilot Modes stehen, die im Stress gerne übersehen werden. Ein Pilot, der im Normalfall – vielleicht ein ganzes Berufsleben lang – niemals trimmt, wird es bei einem plötzlichen Upset auch nicht tun.

Wer nach der Lektüre dieses Artikels glaubt, Fliegen sei gefährlich und Piloten gehörten wegen ihre Fehleranfälligkeit aus dem Cockpit verbannt, der hat was übersehen: Fliegen ist nach wie vor das sicherste Verkehrsmittel auf diesem Planeten. 2018 kamen im kommerziellen Luftverkehr weltweit 523 Menschen (von 7,6 Milliarden) ums Leben[8] – Afrika und Asien inklusive. Im Gegensatz dazu kamen im selben Zeitraum allein in Deutschland im Straßenverkehr 3.265 Menschen (von 83 Millionen) ums Leben.

Dieser hohe Sicherheitsstandard in der Luftfahrt ist auch den Piloten zu verdanken, die täglich Entscheidungen in den Cockpits treffen, bei schwierigen Situationen manchmal mit einer Flexibilität und Innovation reagieren, wie es kein Computer kann. Wie oft haben Piloten schon die Kohlen aus dem Feuer geholt, wenn die Technik versagt hat? Man denke nur an die Notlandung eines A320 im Hudson River 2009.
Auch dann, wenn man nichts in der Zeitung lesen kann: Piloten leisten tagtäglich einen wichtigen Beitrag zur Flugsicherheit.

PeterKlant@Lindbergh-aviation.de

8) https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12873/umfrage/tode- sopfer-im-flugverkehr/

Einige Quellen und Literatur:

A310 Upset-Incident Paris-Orly 24. September 1994
BEA Accident Report
https://www.bea.aero/docspa/1994/yr-a940924a/htm/yr-a940924a.htm

Aircraft Accident Report, Aborted Take-off Shortly After Liftoff, Trans World Airlines Flight 843, Lockheed L-1011, N11002, John F. Kennedy International Airport, Jamaica, New York, July 30, 1992
National Transportation Safety Board. March 31, 1993
http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR93-04.pdf

SAS DC-9 Stickshaker crash, Oslo Fornebu, 30. Januar 1973
Aviation Safety Network
https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19730130-1
1991 Interflug A310 Incident Moscow
Video Animation, Youtube
https://www.youtube.com/watch?-v=-3q4fEtBw7Y

Stall: 1991 Interflug A310 Incident
Blog by BabyDi, Russia
http://www.diary.ru/~katerina-0906/p203402115.htm?oam

Stall und Absturz Airbus A300-600 China Airlines in Nagoya,
26. April 1994
Association for the Study of Failure, Japan
http://www.shippai.org/fkd/en/cfen/CA1000621.html

„800 Tote sind zuviel“, Spiegel-Gespräch mit Berhard Ziegler, Airbus Chief Test Pilot und Senior Vice President for Engineering
Der Spiegel 33/1994
http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13684448.html

Ohne Pilot über den Wolken – Airbus entwickelt selbstfliegende Flugzeuge – die Lufthansa würde zugreifen.
Artikel von von Finn Mayer-Kuckuk, Frankfurter Rundschau, 13.11.2018
https://www.fr.de/wirtschaft/ohne-pilot-ueber-wolken-10968097.html

Absturz A320 am 27. November 2008 Iced Angle-of-Attack Probes, Final Accident Report BEA
www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2008/d-la081127.en/pdf/d-la081127.en.pdf

Lufthansa A321 nahe Bilbao am 5. November 2014
Rapid Descent due to wrong angle-of-attack protection
https://avherald.com/h?article=47d74074

Airplane Upsets: Old Problem, New Issues
By A. A. Lambregts, G. Nesemeier, J. E. Wilborn, and R. L. Newman, FAA. Published at American Institute of Aeronautics and Astronautics
https://www.researchgate.net/publication/268556604_Airplane_Upsets_Old_Problem_New_Issues

A332 MRTT, en-route, south eastern Black Sea, 2014
Artikel in SkyBrary: EUROCONTROL - ICAO - Flight Safety Foundation
(Fehler in diesem Artikel: Der Unfall ereignete sich bei Nacht, nicht am Tag.)
https://www.skybrary.aero/index.php/A332_MRTT,_en-route,_south_eastern_Black_Sea,_2014

A332 MRTT, en-route, south eastern Black Sea, 2014
Unfallbericht der Royal Air Force, veröffentlicht am 23. März 2015
http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2718.pdf

Schlussbericht Nr. 2340 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST über den Unfall des Motorflugzeuges Mooney M20K, D-EPPW, vom 12. September 2017
https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/2340_D.pdf