

Untersuchungsbericht

5X011-0/02
August 2004

Identifikation

Art des Ereignisses:	schwere Störung
Datum:	03. Dezember 2002
Ort:	nahe München
Luftfahrzeug:	Verkehrsflugzeug
Hersteller / Muster:	Airbus Industrie / A300-600
Personenschaden:	Flugbegleiterin leicht verletzt
Sachschaden:	Luftfahrzeug nicht beschädigt
Drittschaden:	keiner
Informationsquelle:	Untersuchung durch BFU

Sachverhalt

Ereignisse und Flugverlauf

Das Flugzeug war um 10:40 Uhr¹ mit 189 Fluggästen und 8 Besatzungsmitgliedern in München zu einem Linienflug nach Frankfurt gestartet.

Im Steigflug auf Reiseflughöhe, mit eingeschaltetem Autopilot 2 (AP 2), stellte die Besatzung bei der routinemäßigen Überwachung der Instrumente fest, dass es zu einer Überschreitung der zulässigen Flugeschwindigkeit (V_{MO}) kommen würde. Als Gegenmaßnahme wurde am AP-Bediengerät die eingestellte Geschwindigkeit verringert und eine größere Steigrate vorgewählt. Nachdem die Fluggeschwindigkeit weiterhin zunahm und nun auch bemerkt wurde, dass sich die Flugzeugnase absenkte, wurde der AP abgeschaltet.

Als der Pilot die Steuerung übernahm, war das Flugzeug stark kopflastig getrimmt. Es befand sich nicht mehr im Steigflug und die zulässige Maximalgeschwindigkeit war um 16 kt überschritten. Bis der vertrimmte Zustand mithilfe der elektrischen Trimmung beseitigt werden konnte, waren hohe Handkräfte zur Steuerung des Flugzeugs nötig. Beim Wiederherstellen des ursprünglichen Flugzustandes traten so hohe Vertikalbeschleunigungen auf, dass eine Flugbegleiterin stürzte und sich dabei leicht verletzte. Der Flug wurde ohne AP problemlos bis zum Ziel fortgesetzt.

Angaben zu Personen

Verantwortlicher Flugzeugführer (PIC):

Der 53-jährige PIC hatte eine Erlaubnis als Verkehrsflugzeugführer (ATPL) und war berechtigt, mehrmotorige Flugzeuge mit einer Masse von über 5700 kg sowie das Muster A300-600 als PIC zu fliegen. Seine Flugerfahrung betrug insgesamt ca. 6764 Flugstunden, davon 3423 auf dem Muster A300-600.

Zweiter Flugzeugführer (Copilot):

Der 33-jährige Copilot hatte eine Erlaubnis als Verkehrsflugzeugführer (ATPL) und war berechtigt, mehrmotorige Flugzeuge mit einer Masse von über 5700 kg sowie das Muster A300-600 zu fliegen. Seine Flugerfahrung betrug insgesamt ca. 3845 Flugstunden, davon 3214 auf dem Muster A300-600. Zum Zeitpunkt des Ereignisses war der Copilot am Steuer (PF).

Angaben zum Luftfahrzeug

Der Airbus A300-600 ist ein zweimotoriges Verkehrsflugzeug mit einer höchstzulässigen Startmasse von 165 000 kg. Für das betroffene Flugzeug, das ohne Trimm-tank und mit dem „Theta Trim“ Flight Augmentation Computer (FAC) ausgerüstet war, ist seit Erstzulassung im April 1987 ein deutsches Lufttüchtigkeitszeugnis und ein deutscher Eintragungsschein

¹ Alle angegebenen Zeiten, soweit nicht anders bezeichnet, entsprechen Ortszeit

ausgestellt. Zum Zeitpunkt der Störung betrug die Gesamtbetriebszeit 53 021 Stunden mit 18 917 Landungen.

Die automatische Trimmfunktion in der Höhensteuerung erfolgt beim A300-600, indem der AP zur Höhenkorrektur das Höhenruder ausschlägt, worauf anschließend das Trimmsystem 1 (PTS 1) mit geringer zeitlicher Verzögerung die Höhenleitwerksflosse (THS) verstellt. Nach der Funktionsbeschreibung im Aircraft Maintenance Manual (AMM) ist das Ziel dieser Funktion ein AP-Flugbetrieb, bei dem sich das Höhenruder ständig in der Neutralstellung befindet.

Das Flugzeug hat zwei unabhängige Systeme (PTS 1 und PTS 2) zur Verstellung des THS. Obwohl ständig beide Systeme eingeschaltet sind, also im Parallelbetrieb arbeiten, wird die Aufgabe immer nur vom PTS 1 ausgeführt. Erst wenn dieses ausfällt oder nicht zur Verfügung steht, wird die Funktion sofort ohne Einschränkungen durch das PTS 2 übernommen. Nach der im AMM beschriebenen Systemarchitektur soll gewährleistet sein, dass durch einen Fehler im Signal oder in der Verkabelung nicht beide PTS gleichzeitig ausfallen können.

In der Nacht vom 01. auf den 02.12.02 wurden bei einer periodischen Kontrolle beide AP des Flugzeugs überprüft. Eine dabei festgestellte Fehlfunktion wurde durch den Wechsel von Komponenten behoben. Am 02.12.02 traten bei den Flügen von Frankfurt nach Malaga und zurück folgende Beanstandungen auf:

- der THS ließ sich nur verstellen, wenn das PTS 1 abgeschaltet war
- bei eingeschaltetem AP 2 wurde der THS permanent in Richtung „Flugzeugnase senken“ verstellt

Beide Beanstandungen wurden ins technische Bordbuch (TLB) des Flugzeugs eingetragen.

Die Beanstandung des PTS 1 konnte in der Nacht vom 02. auf den 03.12.03 aus Zeitgründen in Frankfurt nicht bis zur Aufnahme des geplanten Flugbetriebs am 03.12.02 behoben werden. Sie wurde mit Bezug auf die Mindestausrüstungsliste (MEL) zurückgestellt.

Parallel zur Maßnahme am PTS 1 wurde die Fehlfunktion des PTS 2 in Verbindung mit dem AP 2 überprüft. Der gemäß AMM geforderte und durchgeführte Funktionstest führte zu keiner Fehleridentifizierung. Die Beanstandung wurde als behoben (klassifiziert mit „F“) abgeschrieben. Mit dem Hinweis im TLB, das Problem weiterhin zu beobachten und erneut zu berichten, wurde das Flugzeug für den Flugbetrieb am 03.12.02 freigegeben.

Flugdatenaufzeichnung

Der eingebaute Flugdatenschreiber (FDR), LORAL F 2100, P/N 2100-4043-02, S/N 182396, zeichnete in

einem Zeitintervall von 25 Stunden auf Magnetband zeitgleich 300 Parameter auf. Die für die Beurteilung dieser schweren Störung aussagekräftigen Parameter wurden ausgewählt und für den Start bis zu einem Zeitraum von 950 Sekunden nach dem Abheben als Funktion der Zeit zusammengestellt (Anlage 1).

Den Aufzeichnungen vom 03.12.2002 war zu entnehmen, dass mit eingeschaltetem AP1 der Flug von Frankfurt nach München störungsfrei verlief. Erst auf dem Rückflug nach Frankfurt, bei dem der AP 2 eingeschaltet war, kam es im Steigflug in einer Flughöhe von ca. 17 000 ft zur Positionsänderung des THS. Der THS bewegte sich kontinuierlich mit 0,01 %/s in Richtung „Flugzeugnase senken“. Zeitgleich schlug in entgegengesetzter Richtung das Höhenruder aus.

60 s nach Beginn der Positionsänderung senkte sich die Flugzeugnase, die Steigrate nahm ab und die Fluggeschwindigkeit vergrößerte sich. Nach weiteren 20 s reduzierte sich der Schub beider Triebwerke, wodurch sich verstärkt die Flugzeugnase absenkte. Als nach weiteren ca. 20 s der AP 2 abgeschaltet wurde, verstärkte sich die Absenkung der Flugzeugnase nochmals. Der Höhenruderausschlag war kurzzeitig zurückgegangen, während die erreichte Einstellung des THS von 2,5° bestehen blieb.

10 s nach Abschalten des AP hatte der THS wieder nahezu seine Neutralstellung erreicht. Bis das Flugzeug sich wieder im Steigflug befand, war es zu einem Höhenverlust von 1000 ft gekommen, die Fluggeschwindigkeit hatte einen Maximalwert von KIAS 351 erreicht und es waren Vertikalbeschleunigungen von 0,2 g bis 1,5 g aufgetreten.

Aus den FDR-Aufzeichnungen vom 02.12.2002 war ersichtlich, dass es mit dem AP 2 schon auf dem Flug von Frankfurt nach Malaga zweimal und auf dem Rückflug nach Frankfurt noch einmal zu einer langsamen Positionsänderung des THS in Richtung „Flugzeugnase senken“ gekommen war. Bei diesen drei Ereignissen war der AP 2 nach maximal 80 s abgeschaltet gewesen und das Flugzeug blieb im Steigflug.

Unfallstelle und Feststellungen am Luftfahrzeug

Die am zurückgestellten PTS 1 durchgeführte Fehlersuche ergab, dass ein am 02.12.02 installiertes Neuteil wieder defekt war. Nachdem dieses Teil gewechselt worden war, verlief der Systemtest gemäß AMM ohne Beanstandungen. Bei der Funktionsprüfung des PTS 2 mit dem AP 2 konnte am Boden keine Situation hergestellt werden, bei der sich der THS verstellte. Es wurden daraufhin die Leitungen dieser Systeme durchgemessen. Dabei wurde im Einschub für den FAC2 eine Kabelunterbrechung festgestellt. Im Anschlussstecker

zum Flight Control Computer (FCC2) des AP 2 war ein Kontakt für den FAC2 zurückgeschoben gewesen.

Der FCC2 und FAC2 wurden ausgebaut und zur weiteren Untersuchung zum Flugzeughersteller geschickt. Bei Versuchen mit beiden Geräten in einem Flugsimulator wurde der FAC2 als fehlerhaft erkannt. Die weiteren Untersuchungen beim Hersteller dieses Computers führten zu der Feststellung, dass es bei einer Modifizierung der Software („Theta Trim“) zu Abweichungen von der früheren, weiterhin gültigen Softwarespezifikation gekommen war. Nach Angaben des Flugzeugherstellers waren bei allen ausgelieferten modifizierten FACs diese Abweichungen vorhanden. Es waren insgesamt ca. 50 Flugzeuge betroffen.

In der Software wurde die AUTOTRIM – Funktion nicht geändert. Deshalb wurde diese Funktion auch nicht erneut nachgeprüft. Die Untersuchungen des FAC2 haben gezeigt, dass alle Funktionen des Computers fehlerfrei waren, solange kein anderer (äußerer) Fehler auftrat. Die Softwareänderung hatte daher den Nachprüfprozess unbeanstandet durchlaufen. Der Fehler wurde erst durch die zu untersuchende Störung erkannt.

Versuche und Forschungsergebnisse

Zur Beurteilung des Ereignisses wurden der FCC2 und FAC2 aus dem betroffenen Flugzeug beim Flugzeughersteller in einen A300-600-Simulator eingebaut. Im Beisein von Vertretern der französischen und deutschen Flugunfalluntersuchung (BEA/BFU) führte eine gemischte Besatzung (LU/Flugzeughersteller) im Simulator mehrere Steigflüge mit verschiedenen Einstellungen durch. Nachdem der Simulator auf die im Flugzeug festgestellten Verhältnisse (Kabelunterbrechung) eingerichtet war, konnte das Ereignis reproduziert werden.

Die Versuche im Simulator ergaben, dass das Signal zur Verstellung des THS aus dem FAC2 kam. Die Verstellung setzte erst ein, wenn eine bestimmte Flugeschwindigkeit überschritten wurde. Mit der Bewegung des THS bewegte sich auch das Trimmrad und die Steuersäule. Der im Flugüberwachungsdisplay (PFD) ersichtliche Anstellwinkel des Flugzeugs verringerte sich, während die als Kommandogerät arbeitende Anzeige des Flugführungssystems (FD) im PFD das Aufrichten des Flugzeugs anwies. Nahezu zeitgleich bildete sich der Trendvektor zur Geschwindigkeitsanzeige, der eine weitere Geschwindigkeitszunahme anzeigt. Als die Steigrate gravierend abnahm, übernahm die Besatzung. Der Pilot des LU war bei der Übernahme der Flugsteuerung von der Höhe des Kraftniveaus überrascht.

Organisationen und deren Verfahren

a) Genehmigungsbehörden

Für die Erstellung und Genehmigung der MASTER MINIMUM EQUIPMENT LIST (MMEL) gelten seit dem 1. Mai 2000 folgende Richtlinien:

JAR-MMEL/MEL SUBPART B-MMEL (in Auszügen)

JAR-MMEL/MEL.010 General

(a) The MMEL is a master list (including a preamble) appropriate to an aircraft type which determines those instruments, items of equipment or functions that, while maintaining the level of safety intended in the applicable JAR, may temporarily be inoperative either due to ...

b) Computerhersteller

Bei der Modifizierung des FAC waren die Grundlagen der Zulassung für die Software in den Flugzeugen A300-600 und A310 aus dem Jahre 1982 zu beachten. Dieses sind die Bauvorschriften für Verkehrsflugzeuge (JAR/FAR 25) und die Erstellungs- und Zulassungsempfehlungen der EUROCAE für Software in Luftfahrzeugen (DO-178/ ED-12 first edition - Software considerations in airborne systems and equipment certification).

In dem Ablauf ist vorgesehen, dass in bestimmten Phasen die Übereinstimmung mit den Forderungen kontrolliert wird. Der Weg zur Zulassung der Software beinhaltet einen Nachprüfprozess, in dem sowohl Geräte- und Softwaretests als auch Simulator- und Flugesstests absolviert werden müssen. Das Verfahren zur Änderung zugelassener Software wird in den Richtlinien nicht direkt angesprochen.

c) Luftfahrzeughersteller

Bei der Entscheidung über die Zurückstellung der Behebung von Beanstandungen war folgende Vorgabe der MMEL zu berücksichtigen:

Master Minimum Equipment List – MMEL (in Auszügen)

AUTOMATIC FLIGHT SYSTEM	
System and sequence numbers	Flight Augmentation Computer b) Pitch trim
Rectification Interval	C (10 days)
Number installed	2
Number required for dispatch	1
Remarks or exceptions	* One may be inoperative

d) Instandsetzung

Bei der **Entscheidung über die Zurückstellung** der Behebung von Beanstandungen waren folgende betriebliche Vorgaben zu berücksichtigen:

Verfahrensweisung für die Zurückstellung der Behebung von Beanstandungen (in Auszügen):

3. Grundsätze/Kurzbeschreibung

Die Behebung einer am Luftfahrzeug festgestellten Beanstandung kann unter gewissen Voraussetzungen, die im Kapitel 4 dieser Verfahrensweisung definiert sind, zurückgestellt werden. Dies ermöglicht es, einen zuverlässigen und wirtschaftlich optimierten Flugbetrieb zu gestalten...

4. Verfahren und Zuständigkeiten

4.1 Zurückstellung der Beanstandungsbehebung

4.1.1 Flussdiagramm

4.1.2 Erläuterungen zum Flussdiagramm

- Z1- Beanstandungen: Eine Beanstandung, deren Behebungsmaßnahmen aus verschiedenen Gründen, wie nicht ausreichende Bearbeitungskapazität, fehlendes Material, zu geringe Bodenzeit oder die Beanstandungsbehebung bedarf....
- Z4- Beanstandungen zurückstellbar?: Erlauben die geltenden Flugzeugdokumente/-manuals (MEL/CDL, wobei hierbei die MEL/CDL – Präambel zu beachten ist, AMM, SRM), dass die Beanstandung zurückgestellt wird? Insbesondere ist zu prüfen, ob die neue ZB eine andere schon bestehende ZB beeinflusst ...

Minimum Equipment List – MEL (in Auszügen):

9.5 Preamble - MAINTENANCE ACTION

- The MEL is intended to permit with equipment inoperative for that period of time necessary to organize repairs
- The MEL definitely is not intended as a tool prolonged or even permanent operation of airplanes in a configuration deviating from certification status
- Therefore every effort shall be made by maintenance to correct all technical irregularities as early as practicable and that the airplane be released from maintenance base in fully operational condition so that the effected airplane can be returned to its certification status (Im Original unterstrichen)

- In order to maintain this level, the MEL establishes limitations of the duration of operation with inoperative equipment (see...

Bei der **Beanstandungsbehebung** waren folgende betriebliche Vorgaben zu berücksichtigen:

Verfahrensweisung für die Beanstandungsbehebung und Abgrenzung der Verantwortlichkeiten (in Auszügen):

4.3 Beanstandungsbehebung und zugehörige Dokumentation

Step 1	Crew/Maintenance Report	Decision: a) Monitored Faults (displayed by Aircraft systems)... b) Non Monitored Faults -Crew or Maintenance Observations...
Step 2	Open Items	Check for Attention / Deferred item Listing
Step 3	EO	Check EO....
Step 4	Possible faults / causes	Look for correlated messages in...
Step 5	Fault confirmation Sometimes faults are generated and displayed without A/C System being faulty (nuisance messages)	Perform Functional test/ Ground test (Operate System; BITE Test; Self test) for possible faults. If test results confirm test OK/PASS/or equivalent- it is recommended to dispatch the aircraft. After 3 occurrences of the same phenomenon (even through the test is still OK) the other steps of the TSM procedure shall be
Step 6	Fault isolation	Perform fault isolation procedure action as...
Step 7	Corrective action	Do the corrective action in accordance...
Step 8	Operational-, function-, system test	Perform test after isolation procedure/ corrective action to make sure that the reported fault has been corrected
Step 9	Return to service/ Dispatch aircraft	- if reported faults have not been corrected, refer MEL/CDL to dispatch the aircraft - Perform....
Step 10	Certification and Maintenance Release	Report....

e) Flugbetrieb

Im Falle eines ABNORMAL PITCH BEHAVIOUR und PITCH TRIM RUNAWAY waren nach dem Flugbetriebshandbuch des A300-600, ABNORMAL PROCEDURES, von der Besatzung folgende Maßnahmen durchzuführen:

Aeroplane Operating Manual (AOM) (in Auszügen):

ABNORMAL PITCH BEHAVIOUR or PITCH TRIM RUNAWAY	
CONTROL WHEEL.....	HOLD FIRMLY
TRIM WHEEL.....	HOLD FIRMLY
AP (if engaged).....	DISCONNECT
PITCH TRIM.....	USE PITCH TRIM WHEEL
PITCH TRIM LEVERS.....	CHECK BOTH OFF
PROC: HIGH PITCH FORCE (6.09).....	CONSIDER

Zusätzliche Informationen

Die Befragung der Besatzung zu den Ereignissen am 03.12.02 ergab, dass sie bei der Übernahme des Flugzeugs die im technischen Log Book (TLB) eingetragenen Beanstandungen und Mitteilungen zur Kenntnis genommen, aber nicht vertieft hatte. Aufgrund des Eintrags „F“ in der entsprechenden Spalte des TLB bestand für sie kein Zweifel oder keine Unsicherheit an der Behebung des Fehlers bzw. der Beanstandung.

Auf dem Rückflug fiel der Besatzung anhand eines Trendvektors zur Geschwindigkeitsanzeige im PFD zunächst nur die Möglichkeit auf, dass es zur Überschreitung der V_{MO} kommen könnte. Als nach Verringerung der eingestellten Geschwindigkeit und Wahl einer größeren Steigrate die Fluggeschwindigkeit weiterhin zunahm und nun auch bemerkt wurde, dass sich die Flugzeugnase absenkte, wurde sofort der AP abgeschaltet.

Im Moment des Abschaltens wurde dem PF das Steuerrhorn aus der Hand geschlagen, was die Aufmerksamkeit auf die Trimmung des Höhenleitwerks lenkte und zu der Feststellung führte, dass die Trimmung auf $2,5^\circ$ in Richtung „Flugzeugnase senken“ stand. Bis das vertrimmte Flugzeug durch die Betätigung der elektrischen Trimmung wieder in den ursprünglichen Flugzustand zurückgebracht werden konnte, musste der PF hohe Handkräfte zum Steuern aufbringen.

Nachdem das Flugzeug wieder in den ursprünglichen Flugzustand gebracht worden war, wurde zur Feststellung, ob das Fehlverhalten des AP reproduziert werden kann, der AP 2 nochmals eingeschaltet. Als sich daraufhin wieder die Trimmung kopflastig verstellte, wurde der AP 2 abgeschaltet und das Flugzeug ohne AP zum Zielflughafen geflogen.

Die Befragung der vorigen Besatzung vom 02.12.02 zu den Ereignissen auf den beiden Flügen an diesem Tag

ergab, dass ihr auf dem ersten Flug zunächst nur eine Zunahme der Fluggeschwindigkeit aufgefallen war. Daraufhin wurde die kontinuierliche Absenkung der Flugzeugnase bemerkt und sofort der AP abgeschaltet. Akustische oder optische Warnhinweise gab es während des Ereignisses nicht.

Erst das nochmalige Einschalten des APs führte anhand der Bewegung des Trimmrades zu der Feststellung, dass sich die Trimmung permanent in Richtung „Flugzeugnase senken“ verstellte. Daraufhin schaltete die Besatzung den AP1 ein und beendete damit problemlos ihren Flug. Auf dem Rückflug wurde der AP 2 nur zur Bestätigung der beobachteten Fehlfunktion nochmals kurzzeitig eingeschaltet. An die Anzeige des FD im PFD zum Zeitpunkt des Ereignisses konnte sich keiner der befragten Piloten erinnern.

Beurteilung

Allgemeines

Bei einem Ereignis, das bisher mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als technisch ausgeschlossen galt, muss sich eine auf Verhütung ausgerichtete Untersuchung sowohl auf das Produkt und dessen Instandsetzung als auch auf die zur Sicherheit des Flugbetriebs eingerichteten Verfahren und Handlungsanweisungen erstrecken.

Wichtig ist, dass bei Produktion, Instandhaltung und Betrieb eines Flugzeugs, Sicherheitseinrichtungen vorhanden sind, mit denen die Auswirkungen von Fehlern, egal wo sie entstanden sind, minimiert werden.

Zulassung

Damit ein Flugzeug nicht wegen jeder kleineren Beanstandung am Boden bleiben muss, haben die Zulassungsbehörden zusammen mit dem Flugzeughersteller für das Muster in der MASTER MINIMUM EQUIPMENT LIST (MMEL) festgelegt, für welchen Zeitraum auf sicherheitsrelevante Systeme oder Ausrüstung beim Betrieb eines Luftfahrzeugs verzichtet werden kann. Die internationalen Richtlinien (JAR MMEL/MEL) fordern aber auch, dass bei diesem Verzicht das in der Bauvorschrift (JAR/FAR 25) festgelegte Sicherheitsniveau beibehalten werden soll.

Trotz der in der Bauvorschrift geforderten hohen Ausfallsicherheit (10^{-9}) kommt es weltweit mehrmals im Jahr vor, dass ein sicherheitsrelevantes System ausfällt. Ohne ein Ersatzsystem würde ein Systemausfall sofort zu einer Notlage führen. Die Forderung nach Beibehaltung des Sicherheitsniveaus ist daher nur durch Aufrechterhaltung der Redundanz erfüllbar.

Im AP-Flugbetrieb ist der Verzicht auf ein PTS offensichtlich mit einem Verlust der Redundanz verbunden.

Die noch vorhandenen Ressourcen für die Höhensteuerung stehen erst nach Abschalten des AP zur Verfügung. Somit erfüllt der in der MMEL gestattete Flugbetrieb mit einem PTS nicht die Forderung nach Beibehaltung des Sicherheitsniveaus. Damit diese Forderung erfüllt ist, müsste in diesem Fall auf die Benutzung des AP verzichtet werden.

In der MMEL blieb außerdem unberücksichtigt, dass im Normalfall beide APs primär nur das PTS 1 nutzen und sich Fehler im PTS 2 erst zeigen, wenn das PTS 1 abgeschaltet ist. Der Vorfall hat gezeigt, dass die Entscheidung für einen Flug mit einem abgeschalteten PTS 1 erst getroffen werden kann, wenn die uneingeschränkte Funktion des PTS 2 in einer Überprüfung nachgewiesen wurde und somit bei Antritt des Fluges sichergestellt ist.

In der Präambel der MEL wird darauf hingewiesen, dass der Flugbetrieb mit nicht betriebsbereiten Systemen und Ausrüstungen grundsätzlich eine Ausnahme sein sollte. Die Anwendung des MEL-Verfahrens aus Zeitgründen an einem Ort, an dem beste Voraussetzungen für die Behebung dieser Beanstandung vorhanden waren, erfüllte diesen Anspruch nicht. Wie das Ereignis zeigt, wurde nicht hinterfragt, ob die Auswirkungen im System eine Zurückstellung der Beanstandung zulassen.

Damit ist die MMEL in der vorliegenden Fassung mangels eindeutiger Vorgaben für die Anwendung der Verfahren zu einem Werkzeug für einen geplanten Flugbetrieb mit bekannten sicherheitsrelevanten Beanstandungen geworden.

Luffahrzeugsysteme

Durch eine Kabelunterbrechung zwischen dem Computer des eingeschalteten AP (FCC2) und des aktiven Trimmsystems (FAC2) offenbarten sich Mängel im FAC2. Die Signalunterbrechung in Verbindung mit dem Programmfehler im FAC2 führte dazu, dass in der AUTOTRIM - Funktion die Selbstabschaltung des Systems nicht funktionierte. Dadurch konnte ein Trimmsignal aus dem FAC2 unbeachtet mit geringer Stellrate die Trimmung in Richtung „Flugzeugnase senken“ verstellen.

Aus der Systembeschreibung im AMM (22-27-00) zum automatischen PTS ist zu entnehmen, dass aufgrund der Systemarchitektur Fehler im Signal oder in der Verkabelung erkannt werden und dass solche Fehler nicht gleich zum Ausfall beider PTS führen. Im Umkehrschluss bedeutet diese Aussage, dass nur das aktive PTS aufgrund solcher Fehler abgeschaltet wird. Es bleibt dann in der erreichten Position.

Die Systembeschreibung setzt voraus, dass alle Komponenten im System die Spezifikation erfüllen. Das war hier jedoch nicht der Fall. Eine fehlerhafte Soft-

ware im FAC verhinderte das Erkennen der Leitungsunterbrechung, so dass sich ein Trimmsignal aus der AUTOTRIM-Funktion ungehindert auswirken konnte.

Die Untersuchungen des fehlerhaften Computers beim Gerätehersteller ergaben, dass der Softwarefehler bei einer Modifizierung des Computers entstanden war. Bei den daraufhin vom Flugzeug- und Gerätehersteller im Rahmen ihrer Qualitätssicherung durchgeführten Soll-Ist-Vergleichen wurden Mängel in der Zusammenarbeit beider Firmen erkannt und Maßnahmen zur Vermeidung solcher Fehler eingeleitet.

Nach der Beschreibung im AMM sollte das System mit Leitungsunterbrechungen umgehen können. Als Maßnahme zur Minimierung der Auswirkungen von Fehlern sollte diese Forderung für alle Funktionen nachgewiesen werden, jedoch nicht nur bei der Neuzulassung, sondern auch nach einer Modifizierung. Eine solche verbindliche Festlegung konnte in den Bauvorschriften für Verkehrsflugzeuge (JAR/FAR 25) bzw. den Entwicklungs- und Zulassungsverfahren für Software in Luftfahrzeugen (DO-178B) nicht gefunden werden.

Mit der Beschreibung, wonach Fehler im Signal von der Systemarchitektur erkannt werden, sind offensichtlich nur die Signale für den FAC gemeint. Das fehlerhafte Trimmsignal aus dem FAC2 wurde durch die Systemarchitektur nicht als solches erkannt. Der Versuch des AP, die Folgen der Verstellung des THS zu kompensieren, war keine Fehlfunktion. Da normalerweise der AP die beabsichtigte Höhe steuert und die Trimmung so lange nachgeführt wird, bis das Höhenruder wieder die Neutralstellung erreicht hat, bedeutete der Vorgang aber eine Umkehrung des normalen Regelprozesses zur Höhensteuerung.

Das fehlerhafte Trimmsignal und die daraus resultierende Tätigkeit des APs waren eindeutige Hinweise auf ein Fehlverhalten der automatischen Trimmfunktion in der Höhensteuerung. Ein Hinweis vom elektronischen Überwachungssystem (ECAM) konnte daraus jedoch nicht abgeleitet werden, weil ein solcher Fall im Konzept des ECAM nicht vorgesehen ist. Der Hinweis auf eine sich entwickelnde gefährliche Situation wäre gleich zu Beginn ausgelöst worden und hätte damit eine Zeitersparnis von 60 s gebracht. Für das Erkennen der abnormalen Situation war ein Hinweis unbedingt erforderlich.

Durch den vorliegenden Softwarefehler war eine Überwachung des THS nicht mehr gegeben. Entsprechend wäre eine automatische Umschaltung vom PTS 1 auf das PTS 2 nicht erfolgt. Da die Modifizierungsstände in beiden FACs identisch waren, war es ein Zufall, welches System betroffen wurde. Dadurch, dass sich das Fehlverhalten nur mit aktivem PTS 2 in Zusammenhang mit eingeschaltetem AP 2 zeigte und im Normalfall immer PTS 1 aktiv ist, war im Nachhinein

nicht feststellbar, wann es zu der festgestellten Signalunterbrechung gekommen war.

Instandsetzung

Unter Berufung auf die aus der MMEL resultierende MEL des LU und mit Bezug auf eine betriebliche Verfahrensweisung (VA) wurde die Behebung der Beanstandung des PTS 1 zurückgestellt. Die VA enthielt nur Festlegungen für die Anwendung des MEL-Verfahrens auf den Stationen des LU. Für die wesentlich besser ausgestatteten Wartungsbasen des LU fehlt jedoch eine Festlegung bezüglich der Präambel zur MEL.

Um die fehlerhafte Funktion des PTS 2 und evtl. fehlerhafte Komponenten, hier die Kabelunterbrechung als eine Ursache des Runaways am 02.12.02, identifizieren und dann eliminieren zu können, war die Überprüfung des PTS 2 mit AP 2 erforderlich. Das Prüfverfahren im AMM beschrieb die Überprüfung mit beiden APs nur für das PTS 1. Der Flugzeughersteller hat schon während der Untersuchung die MMEL und das AMM entsprechend geändert, so dass in Zukunft vor der Entscheidung über die Zurückstellung einer Beanstandungsbehebung die sichere Funktionsfähigkeit des verbleibenden PTS nachzuweisen ist.

Die Überprüfung der im TLB eingetragenen Beanstandung zum PTS 2 erfolgte nach den im AMM enthaltenen Anweisungen des Flugzeugherstellers. Diese Anweisungen führten jedoch weder zur Bestätigung der Beanstandung noch zur Identifizierung eines Fehlers. Die eingetragene Beanstandung wurde durch den Eintrag „F“ im TLB als behoben beschrieben. Zusätzlich war für die nachfolgende Besatzung noch die Nachricht eingetragen: Bitte weiterhin beobachten und erneut berichten.

Die Instandhaltung eines Flugzeugs soll nach den Anweisungen des Flugzeugentwicklers erfolgen. Um diesem Grundsatz zu entsprechen, muss bei Schwierigkeiten in der Durchführung der Anweisungen dieser eingeschaltet werden. Um dem Prinzip der Instandsetzung und dem Erfordernis der weiteren Verwendung des Flugzeugs gerecht zu werden, muss in dem Verfahren der Instandsetzung der Umgang mit dieser Situation festgelegt sein.

Für die zur Flugführung benötigten sicherheitsrelevanten Systeme könnten Beanstandungen, die am Boden nicht reproduzierbar waren, nur mit der einschränkenden Auflage, dass die Beanstandung noch zu klären ist, für den Betrieb freigegeben werden. Als endgültig behoben wird die Beanstandung angesehen, wenn der Flugzeugentwickler dem LU und dem Instandsetzungsbetrieb weitere Empfehlungen gegeben hat und diese durchgeführt worden sind.

Der Instandsetzungsbetrieb hat innerbetrieblich Verfahren zur Durchführung der Instandsetzung von Luftfahrzeugen festgelegt. Diese Verfahrensweisungen kommen unabhängig vom betroffenen Muster, Hersteller und Auftraggeber zur Anwendung. Als Bestandteil eines Fehlermanagements kommt ihnen eine besondere Bedeutung zu, weil sie die letzte Sicherheitseinrichtung vor der Inbetriebnahme des Luftfahrzeugs darstellen, mit denen die Auswirkung von Fehlern, egal wo sie entstanden sind, minimiert werden können.

Das Ereignis unmittelbar nach einer Beanstandungsbehebung lenkte die Aufmerksamkeit auf die dazu getroffenen Festlegungen. Zu der im TLB eingetragenen ungeklärten Beanstandung und Bemerkung „Bitte nochmals überprüfen“ passte die Bescheinigung „F = Fixed“ nicht. Die Klassifizierung war jedoch kein Arbeitsfehler, sondern entsprach den betrieblichen Festlegungen. Dagegen entsprach die eingetragene Bemerkung für die nachfolgende Besatzung nicht den Festlegungen der VA. Für eine Mitteilung an die nachfolgende Besatzung hätte im TLB die Beanstandung „offen“ bleiben müssen.

Die aus den Verfahrensweisungen resultierende Konfliktsituation rückte die Festlegungen zur Beanstandungsbehebung in den Vordergrund. Eine Systemprüfung anlässlich einer Beanstandung, bei der alle Prüfpunkte ohne Befunde absolviert wurden, kann prinzipiell keine abschließende Behebungsmaßnahme für eine im TLB eingetragene Beanstandung darstellen. Für sicherheitsrelevante Systeme sollte die Beanstandung daher nicht mit „Fixed“ abgeschrieben werden dürfen, wodurch im vorliegenden Fall auch der Widerspruch in den Verfahrensweisungen beseitigt worden wäre.

Damit die Beanstandungsbehebung dem Anspruch auf Fehlerminimierung besser als bisher gerecht wird, sollten in der Verfahrensweisung die Maßnahmen davon abhängig gemacht werden, ob ein sicherheitsrelevantes System oder die Ausrüstung betroffen ist und in Anlehnung an JAR/FAR 25, welche Folgen dieser Ausfall für die Führung des Luftfahrzeugs haben könnte: (CATASTROPHIC / HAZARDOUS / MAJOR / MINOR bzw. CRITICAL / ESSENTIAL / NON ESSENTIAL). Über eine ATA-Spezifikation könnten die betroffenen Systeme benannt und die Schwellenwerte für das Einschalten des Flugzeugentwicklers definiert werden.

Flugbetrieb

Die Wiederholung des Ereignisses sowie das Nachfliegen des Störungshergangs im Simulator haben gezeigt, dass die Auswirkungen nur dann gering gehalten werden können, wenn der AP möglichst früh ausgekuppelt wird. Dazu ist es notwendig, dass bei den Besatzungen das Bewusstsein vorhanden ist, dass auch im Flugbetrieb mit AP eine ungewollte Veränderung

des THS (runaway) möglich ist, und dass dieses Fehlverhalten schnellstmöglich erkannt werden muss. Erst dann kann einem solchen Ereignis unter Anwendung der ABNORMAL PROCEDURES im AOM begegnet werden.

Da es keine Warnungen und ECAM-Meldungen gab, hätte die Besatzung das Fehlverhalten des Systems nur bei ständiger Beobachtung des PFD und dem kritischen Vergleich von PITCH und POWER, PITCH und FD-Anzeige und tatsächlichem Flugverlauf erkennen können. Eine permanente Beobachtung des PFD ist ohne Anlass unrealistisch. In diesem Punkt könnte eine ECAM-Meldung oder andere Einrichtung (Warnlicht) eine entscheidende Verbesserung bringen. Sie würde sofort bei Beginn des Fehlverhaltens die Aufmerksamkeit des PF auf das PFD lenken und damit auch dem PF noch genügend Spielraum für eine Situationsbeurteilung lassen.

Nicht zuletzt, weil ein runaway bisher im Flugbetrieb mit AP als ausgeschlossen galt, hatte keine der beiden Besatzungen das nötige Bewusstsein für ein solches Ereignis. Noch weniger war ihnen vertraut, woran das Fehlverhalten in der Höhensteuerung im PFD erkennbar ist. Nach der Systembeschreibung war im Flugbetrieb mit AP nur damit zu rechnen, dass sich ein System abschaltet. Es ist daher sehr aufschlussreich, dass der Flugzeughersteller für das Training im Simulator bereits ein Programm entwickelt hatte, um allgemein das Bewusstsein für Störungen im Flugbetrieb mit AP zu verbessern. Dieses Programm ist eine sinnvolle Ergänzung zu dem Hinweis auf abnormale Situationen und sollte daher in die Ausbildung und in das periodische Training der Piloten im A300/A310 aufgenommen werden.

Schlussfolgerungen

Die Ursachen für die schwere Störung waren:

- Aufgrund einer zurückgestellten Beanstandungsbehebung am PTS 1 konnte der AP nur mit dem PTS 2 betrieben werden.
- Für das PTS 2 lag eine Beanstandung vor, für die es bei der Überprüfung keine Fehlerbestätigung und Behebungsmaßnahme am Flugzeug gab.
- Ab einer bestimmten Fluggeschwindigkeit bewirkte eine Signalunterbrechung zwischen dem eingeschalteten AP 2 und dem PTS 2 eine kontinuierliche Verstellung des THS in Richtung „Flugzeugnase senken“.
- Wegen einer Systemschwäche, bedingt durch einen Programmfehler im FAC2, führte die konti-

nuerliche Verstellung des THS nicht zu einer Warnung und Selbstabschaltung des Systems.

- Das bei abnormaler Funktion der Höhenleitwerks-trimmung im AOM vorgesehene Verfahren wurde nicht rechtzeitig durchgeführt.

Systembedingt hat zu der schweren Störung beigetragen:

- Bei der Genehmigung der MMEL wurde nicht ausreichend berücksichtigt, dass im Flugbetrieb mit AP bei einem Verzicht auf ein PTS keine Redundanz mehr vorhanden ist.
- Die MMEL des Luftfahrzeugherstellers sowie die auf der Grundlage der MMEL erarbeitete MEL des LU enthielten keine eindeutigen Kriterien für die Einsatzplanung, insbesondere ab wann ein Flugzeug mit nicht betriebsbereiten Systemen und Ausrüstungen noch von der Wartungsbasis eingesetzt werden darf.
- Bei dem Verzicht auf das PTS 1 blieb in der MMEL unberücksichtigt, dass im Normalfall beide APs dieses System nutzen und die uneingeschränkte Funktion des PTS 2 mit beiden APs nicht gewährleistet ist.
- Für den Umgang mit der Situation, dass die Beanstandung des PTS 2 durch einen Systemtest am Boden nicht reproduziert werden konnte, enthielten die Instandsetzungsunterlagen für das Flugzeug und die Betriebsverfahren keine oder unzureichende Festlegungen.
- Die Erstellungs- und Zulassungsempfehlungen der EUROCAE für Software in Luftfahrzeugen aus dem Jahre 1982 schreiben nicht vor, im Rahmen des Zulassungsverfahrens bei einer Änderung nochmals die Gesamtfunktionen der Baugruppe bzw. des betroffenen Systems nachzuweisen.
- Weder die Ausbildung noch das periodische Training vermittelte den Piloten ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen, um auf die bei eingeschalteter automatischer Flugsteuerung schwer erkennbare abnormale Systemfunktion (pitch up/down) vorbereitet zu sein.

Sicherheitsempfehlungen

Zur Verhütung weiterer Störungen haben der Flugzeughersteller und die Luftfahrtbehörden bereits vor Abschluss der Untersuchung Maßnahmen durchgeführt, damit die automatische Überwachungsfunktion der FACs wieder gewährleistet ist.

Hierbei wurde eine zusätzlich schon vorhandene Trimmüberwachungsfunktion im FAC freigeschaltet, die dann mit einer bestimmten Testanweisung überprüft wurde. Angaben zu diesen Aktionen sind in folgenden Unterlagen enthalten:

- Technische Mitteilungen des Herstellers:
AOT A300-22A6046 vom 06. März 2003
AOT A310-22A2055 vom 06. März 2003
AOT A300-22A6049 vom 12. Juni 2003
AOT A310-22A2057 vom 12. Juni 2003
Service Bulletin A300-22-6045
Service Bulletin A300-22A6048
Service Bulletin A310-22A2056
FOT (Ref STL 999.0033/03) ALL A300-600 AND A310 OPERATORS vom 14. März 2003
Revision MMEL und AMM vom 22. März 2003
- AD der französischen Behörde:
DGAC CN 2003-110(B)R1 vom 30.04.2003
DGAC CN 2003-165(B) vom 30.04.2003
DGAC 2003-243(B)
- Lufttüchtigkeitsanweisung des LBA:
LTA-Nr.: 2003-146/2 vom 09.05.2003

Nach Abschluss der Untersuchungen hat die BFU folgende Sicherheitsempfehlungen herausgegeben:

- 25/2004 Die EASA als zuständige Behörde für die Musterzulassung von Luftfahrzeugen sollte darauf hinwirken, dass die „Master Minimum Equipment List“ (MMEL) für das Flugzeugmuster Airbus A300/A310 den Flugbetrieb mit eingeschaltetem AP nicht gestattet, wenn nur ein PTS betriebsbereit ist.
- 26/2004 Die EASA als zuständige Behörde für die Musterzulassung sollte darauf hinwirken, dass in alle „Master Minimum Equipment List“ (MMEL) der Luftfahrzeughersteller die „Criteria for Dispatch“ (JAR-MMEL/MEL, Seite 2-C-3, Nr. 3, vom 01.05.2000) übernommen werden und die MMEL zusätzlich um eindeutige Festlegungen ergänzt werden, in welchen Fällen ein Luftfahrzeug mit nicht betriebsbereiten Systemen und/oder nicht betriebsbereiten Ausrüstungsteilen auf Flügen, die von Wartungsbasen mit geeigneten Instandsetzungseinrichtungen (Home Base) angetreten werden, eingesetzt werden darf.
- 27/2004 Das LBA als zuständige Genehmigungsbehörde für die Minimum Equipment List (MEL) der Luftfahrtunternehmen sollte darauf hinwirken, dass die „Criteria for Dispatch“ (JAR-MMEL/MEL, Seite 2-C-3, Nr. 3, vom 01.05.2000) übernommen werden und die MEL zusätzlich um eindeutige Festlegungen

ergänzt werden, in welchen Fällen ein Flugzeug mit nicht betriebsbereiten Systemen und/oder nicht betriebsbereiten Ausrüstungsteilen auf Flügen, die von Wartungsbasen mit geeigneten Instandsetzungseinrichtungen (Home Base) angetreten werden, eingesetzt werden darf.

- 28/2004 Die EASA als zuständige Behörde für die Musterzulassung von Luftfahrzeugen sollte darauf hinwirken, dass in den Flugzeugmustern A300/A310 eine Einrichtung (elektronische Meldung oder Warnlicht) installiert wird, mit der auf eine abnormale Stellung bzw. Positionsänderung des THS (pitch up/down) aufmerksam gemacht wird.
- 29/2004 Das LBA als zuständige Genehmigungsbehörde für den Instandsetzungsbetrieb sollte darauf hinwirken, dass die betriebliche Verfahrensanweisung des Instandsetzungsbetriebes für die Beanstandungsbehebung so geändert wird, dass bei der Fehlersuche und Fehlerinstandsetzung im Rahmen der Störungsbehebung an Systemen, die für die Flugführung wichtig sind, die möglichen Auswirkungen eines Systemausfalls auf die Flugführung berücksichtigt werden. Wenn bei der Instandsetzung solcher Systeme ein Fehler nicht bestätigt werden kann, darf eine Beanstandung nicht ohne zusätzliche Klärungs- und Abhilfemaßnahmen als behoben ausgetragen/abgeschrieben werden.

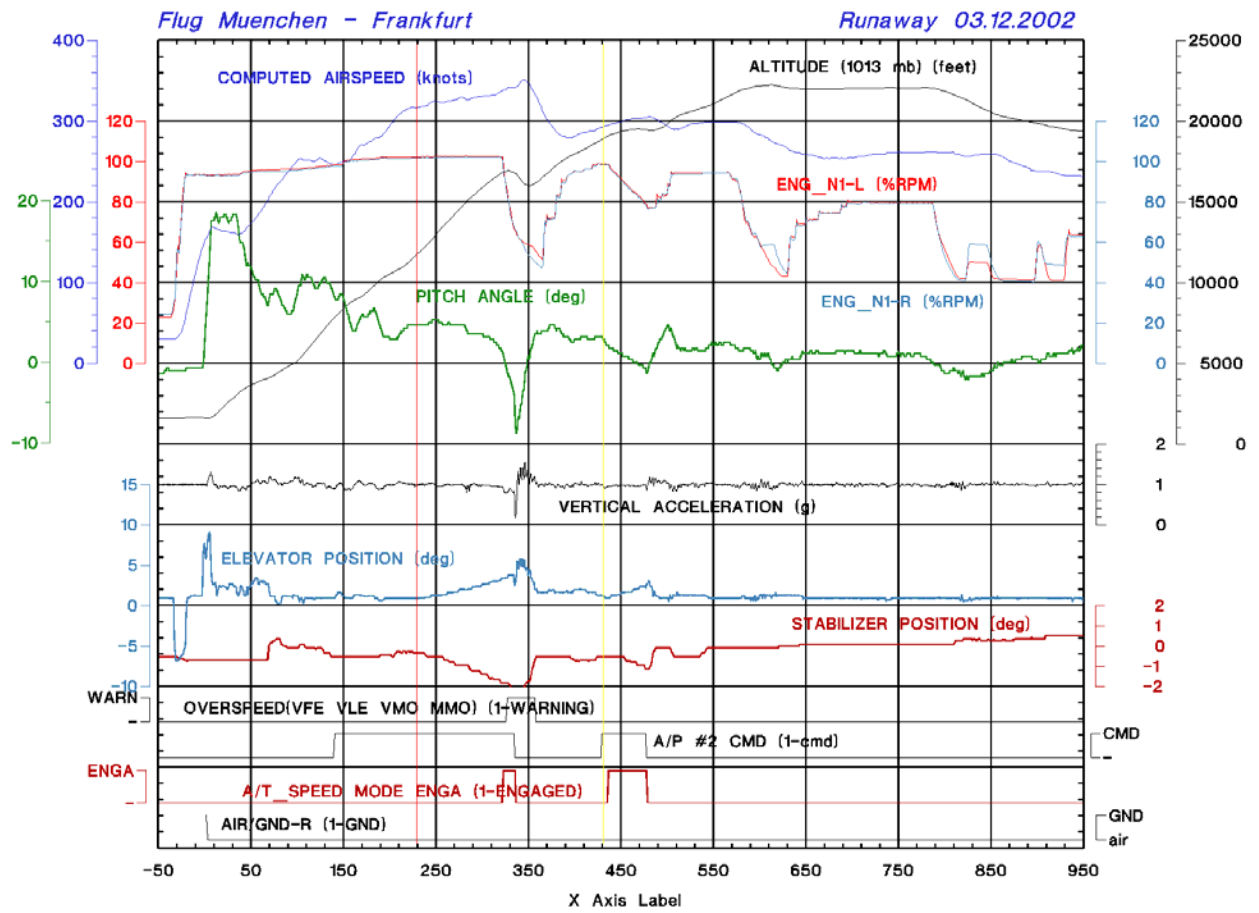
Untersuchungsführer	K. Büttner
Mitwirkung	
Untersuchung vor Ort	K. Büttner
Flugbetrieb	L. Müller
Luftfahrzeugsysteme	U. Pitz; K. Büttner
Flugschreiber	H.-W. Hempelmann

Anlagen:

Flugdatenschreiber-Auszug des Ereignisses

Abkürzungsverzeichnis

Flugdatenauszug des Ereignisses



Preliminary Inc_Flight
 Created: December 18, 2002

BFU Flight Recorders

Abkürzungsverzeichnis

AOM AP AMM	Aircraft Operating Manual – Flugbetriebshandbuch Autopilot Aircraft Maintenance Manual – Wartungshandbuch
ECAM	Electronic centralized aircraft monitor – elektronisches Überwachungssystem
FAC FDR FD FCC	Flight Augmentation Computer – Flug-Trim-Computer Flight Data Recorder – Flugdatenschreiber Flight Director Flight Control Computer – Flug-Steuerung-Computer
PF PFD PTS	Pilot Flying – Pilot am Steuer Primary Flight Display – Flugüberwachungsdisplay Pitch Trim System – Höhensteuerungstrimmsystem
MEL MMEL	Minimum Equipment List – Mindestausrüstungsliste des Luftfahrtunternehmens Master Minimum Equipment List – Mindestausrüstungsliste für das Muster
LU	Luftfahrtunternehmen
THS TLB	Trimable Horizon Stabilizer – verstellbare Höhenleitwerksflosse Technical Log Book – technisches Bordbuch
VA V _{MO}	Verfahrensweisung Maximum Operating Limit Speed – zulässige Fluggeschwindigkeit