

Untersuchungsbericht

6X011-0/00
Februar 2001

Sachverhalt

Art des Ereignisses:	Schwere Störung
Datum:	16. Juni 2000
Ort:	Antalya / Türkei
Luftfahrzeug:	Verkehrsflugzeug
Hersteller / Muster:	Boeing / B757-300
Personenschaden:	ohne Verletzte
Sachschaden:	Luftfahrzeug nicht beschädigt
Drittsschaden:	keiner

Flugverlauf

Das mit 249 Insassen besetzte Flugzeug befand sich auf einem Charterflug nach Köln, als es im Startlauf, kurz vor dem Abheben, zu unbeabsichtigten Richtungsänderungen mit unangenehmen Querbeschleunigungen kam. Das Flugzeug wich dabei mehrere Meter von der Startbahnmittellinie ab. Bei den Richtungskorrekturen spürte der steuernde Flugzeugführer (PF) Schläge in den Ruderpedalen. Nach dem Abheben war das Verhalten des Flugzeugs und seiner Systeme normal.

Da eine Beeinträchtigung der Steuerbarkeit des Flugzeugs bei der Landung zu befürchten war, bereitete die Besatzung die Passagiere auf eine abnormale Landung vor und erklärte im Anflug auf den Zielflughafen der Flugsicherung eine Luftnotlage. Die Landung und das Rollen bis zur Parkposition verliefen ohne Probleme.

Untersuchung

Der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) wurde die Luftnotlage von einem Beauftragten auf dem Verkehrsflughafen Köln gemeldet. In Absprache mit dem betroffenen Luftfahrtunternehmen (LU) wurde der Flugschreiber (FDR) für eine Auswertung sichergestellt. Vom technischen Dienst des LU wurde am Flugzeug vor Ort eine eingehende Überprüfung der Seitensteuerung, der Räder und Bremsen sowie der Triebwerke durchgeführt. Eine Klärung des Ereignisses wurde mit diesen Maßnahmen nicht erreicht. Das Flugzeug wurde daher zum technischen Betrieb des LU nach Frankfurt überführt. Aufgrund der Sachlage wurde die weitere Untersuchung in Zusammenarbeit mit dem LU von der BFU geführt. Während der Untersuchung bestand über das LU ein enger Kontakt zum Flugzeughersteller.

Im technischen Betrieb des LU wurde die gesamte Seitensteuerung des Flugzeugs nach Vorgaben des Herstellers weiteren umfangreichen Prüfungen unterzogen. In diesem Rahmen wurden auch beide Gierdämpfer / Seitenrudertrimmgeräte (Yaw Damper / Stabilizer Trimm Control Unit = YSM) zum Hersteller geschickt und funktionsgeprüft. Die Funktion beider YSM war in Ordnung. Bei der Überprüfung der Bugradsteuerung wurde festgestellt, dass die Seilvorspannung nicht, wie vom Hersteller Boeing vorgeschrieben, 62 lbs, sondern nur 45 lbs betrug und die Neutralstellung der Hydraulikansteuerung nicht innerhalb von $1,5^\circ$, sondern bei 2° , erfolgte.

Im Rahmen des Informationsaustausches teilte Boeing dem LU mit, dass bei Flugzeugen vom Baumuster B757-300, die in der Zeit vom 15. November 1998 bis 20. Juni 2000 gebaut wurden, nicht vorgereckte Steuerseile in der gesamten Flugsteuerung, den Bremsen und der Fahrwerksbetätigung eingebaut wurden. Das

von der Störung betroffene Flugzeug wurde im Jahre 1999 produziert. Basierend auf diese Mitteilung wurde vom LU eine Ingenieur - Anweisung (EO) erstellt. Anhand dieser werden bei allen B757-300 des LU die Seilvorspannungen in jedem zweiten A-Check kontrolliert und ggf. nachgestellt. Die EO wird im LU so lange durchgeführt, bis keine Veränderungen der Seilspannungen mehr festgestellt werden.

Bei der Auswertung des FDR wurden in einem Diagramm die signifikanten Flugparameter über der Zeit aufgetragen. Der Zeitpunkt „0“ wurde beim Abheben des Bugrades (Umschaltung AIR/GND) definiert. Folgende Abläufe ereigneten sich während des Startlaufes:

- 23 Nach einem Geradeauslauf veränderte sich bei ca. 85 KGND die Ausrichtung der Flugzeuglängsachse (HDG) nach rechts. Der PF bringt mit bis zu 25% Ruderpedalweg nach links das Flugzeug wieder in Startrichtung
- 16 Nach kurzem Geradeauslauf veränderte sich bei ca. 110 KGND der HDG nach links. Der PF bringt mit bis zu 25% Ruderpedalweg nach rechts das Flugzeug wieder in Startrichtung
- 11 Nachdem die Startrichtung gerade wieder erreicht war verändert sich bei ca. 130 KGND der HDG erneut nach links, wobei der Gradient der Veränderung größer war als bisher. Der PF erreichte, mit bis zu 40% Ruderpedalweg nach rechts, zwar eine Reduzierung der Abweichung, jedoch keine Stabilisierung in Startrichtung
- 8 Der HDG überschoss die Startrichtung mit einer erheblichen Veränderungsrate bei ca. 140 KGND weiter nach rechts. Der PF erreichte, mit bis zu 25% Ruderpedalweg nach links, zwar eine Reduzierung der Abweichung, jedoch wieder keine Stabilisierung in Startrichtung
- 5 Der HDG überschoss die Startrichtung mit einer erheblichen Veränderungsrate bei ca. 150 KGND weiter nach links. Der PF erreicht, mit bis zu 40% Ruderpedalweg nach rechts, wohl eine Reduzierung der Abweichung, jedoch wieder keine Stabilisierung in Startrichtung
- 3 Der HDG überschießt die Startrichtung mit einer noch weiter vergrößerten Veränderungsrate bei ca. 155 KGND weiter nach rechts. Die Abweichung erreichte hier den Maximalwert von 3°. Der PF erreichte, mit bis zu 25% Ruderpedalweg nach links, zwar eine Reduzierung der Abweichung. Bevor der HDG wieder die Startrichtung erreichte wurde das Bugrad abgehoben
- 0 Als das Bugrad abgehoben war, stabilisierte sich der HDG auf die Startrichtung und Pedale sowie Seitenruder nahmen neutrale Stellungen ein

Überschlägig haben die Richtungsänderungen der Flugzeuglängsachse, bei Geschwindigkeiten von mehr als 100 KGND, zu Abweichungen von der Startbahn-

mittellinie bis zu 6 m geführt. Dabei war es zu Querbeschleunigungen von -0,2g bis +0,15g gekommen. Pedale und Seitenruder bewegten sich stets synchron. Ein Lenkwinkel der Bugräder wird vom FDR nicht aufgezeichnet, jedoch besteht eine Zuordnung zwischen dem Lenkwinkel und der Ruderpedalstellung.

Aus der Aufzeichnung vorangegangener Flüge war bei mehreren Startläufen eine labile Richtungshaltung ersichtlich. Beim beanstandeten Startlauf erreichten unmittelbar vor dem Abheben nicht nur die Abweichungen von der Startrichtung, sondern auch die Ruderpedalwege zur Richtungskorrektur, Maximalwerte.

Beurteilung

Am Boden führt die Bewegung des Handrads (tiller) oder der Ruderpedale über Steuerseile zur hydraulischen Auslenkung der Bugfahrwerksräder und des Seitenruders. Zum Rangieren bei niedrigen Geschwindigkeiten können die Bugräder mit dem Handrad aus der Mittelstellung um 65° nach links oder rechts ausgelenkt werden. Während des Starts und der Landung können die Bugräder mit den Ruderpedalen aus der Mittelstellung um höchstens 5° nach links oder rechts ausgelenkt werden. Der volle Ausschlag der Ruderpedale führt jedoch auch zum Vollausschlag des Seitenruders. Bei dem zu beurteilenden Ereignis erfolgte der Ausschlag des Seitenruders stets synchron mit den Ruderpedalen und war frei von Befunden. Da auch mit der Aufzeichnung des FDR eindeutig der Einfluss der Bugradsteuerung nachgewiesen wurde, befasst sich die Analyse daher hauptsächlich mit der Bugradsteuerung und weist nur wo nötig auf den Einfluss des Seitenruders hin.

Wenn die Fahrwerke ausgefahren sind, können die Bugräder hydraulisch ausgelenkt werden. Ein umlaufendes Steuerseil überträgt die Bewegung des Handrades oder der Ruderpedale an die Lenkhydraulik. Das umlaufende Steuerseil verbindet aber auch den Ein- und Ausgang der Bugradsteuerung miteinander. Auf diese Weise werden mechanisch Unterschiede zwischen dem momentan vorhandenen und dem vorgegebenen Lenkwinkel der Bugräder festgestellt. Eine Differenz verändert die Stellung des Hebels (summing bar), mit dem die Hydraulik mechanisch seitenrichtig angesteuert wird. Wenn eine Übereinstimmung erreicht ist, schließt das Steuerventil der Hydraulik, aufgrund der mechanischen Nachführung des umlaufenden Steuerseiles, wieder.

Mit zunehmender Geschwindigkeit entwickelt das Flugzeug eine Eigenstabilität für die Einhaltung der Richtung gegenüber der Startbahn. Lediglich durch einen gestörten Geradeauslauf werden dann Korrekturmaßnahmen erforderlich. Die Quellen für solche Störungen können im Flugzeug selbst und/oder bei den Bedingungen beim Start (Seitenwind, Bahnzustand, usw.) liegen. Eine diesbezügliche qualitative Beurtei-

lung anderer Flüge war nicht möglich, weil nicht alle Faktoren dafür zur Verfügung standen. Die Aufzeichnung des zu beurteilenden Startlaufs zeigte, dass Korrekturen nach links kleiner ausfielen als nach rechts. Das Flugzeug hatte eine leichte Drift nach links. Ein Zusammenhang mit dem Befund, dass die Neutralstellung in der Hydraulik nicht in den vorgegebenen Limits erfolgte, konnte nicht aufgezeigt werden. Ebenfalls wurde bei einer Boeing 757-300 des LU, die im August 1999 auf Ibiza von der Landebahn abgekommen war, festgestellt, dass das Flugzeug eine, unakzeptable, jedoch durch die Ruderpedalsteuerung gut beherrschbare leichte Drift nach links zeigte.

Für jede Richtungsänderung ist eine Kraft erforderlich. Beim rollenden Flugzeug werden die benötigten Kräfte, insbesondere im unteren Geschwindigkeitsbereich, durch das Auslenken der Bugräder erzeugt. Im oberen Geschwindigkeitsbereich kommt noch eine Kraft vom Seitenleitwerk hinzu. Bei hohen Geschwindigkeiten führen auch kleinste Lenkwinkel bei guter Kraftübertragung (Reibbeiwert, Belastung) zu gravierenden Richtungsänderungen. Wenn auch in dieser Phase die Autorität für die Seitensteuerung beim Seitenruder liegt, unterstützt die Bugradlenkung jedoch die beabsichtigte Richtungsänderung und reduziert somit die erforderlichen Ruderpedalwege. Zwischen der Bugradauslenkung und dem Seitenruderausschlag besteht eine feste Zuordnung.

Durch die zu geringe Seilvorspannung ergab sich ein Nachlauf der Bugradauslenkung. Bei Betätigung der Ruderpedale schlägt das Seitenruder sofort aus, der Lenkausschlag der Bugräder erfolgt später. Somit addiert sich zeitverzögert die Wirkung vom Bugfahrwerk zu der einsetzenden Wirkung des Seitenruders. Bei der Rücknahme der Betätigung reduziert sich der Seitenruderausschlag sofort, der Lenkausschlag der Bugräder verringert sich später. Die zu geringe Seilvorspannung in der Bugradsteuerung machte die Seitensteuerung so träge, dass der PF das Flugzeug mit zunehmender Geschwindigkeit ständig übersteuerte. Es kam dadurch zu immer größer werdenden Abweichungen der Flugzeuglängsachse von der Startrichtung.

Das Abweichen von der Startrichtung, das Erkennen der Abweichung und die Rückführung sind ein klassischer Regelkreis. Wie gut dieser Regelkreis funktioniert hängt, bei einwandfreier Steuerbarkeit, vom PF ab. Er muss in Bruchteilen einer Sekunde die Richtung, die Größe und den Trend der Abweichung beurteilen und entsprechend dosiert die Ruderpedale betätigen. Dem PF gelang es bei dem zu beurteilenden Startlauf nicht sich auf die Trägheit der Seitensteuerung einzustellen. Die Auswertung zurückliegender Flüge zeigte, dass dies auch anderen Piloten nicht immer gelungen war.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchung ergab, dass in dem Flugzeug Steuerseile eingebaut waren, die vor dem Einbau nicht vorgereckt worden waren. Im Laufe der Zeit reduzierte sich die Seilvorspannung der Bugradsteuerung so weit, dass sich ein Nachlauf in der Auslenkung der Bugräder ergab. Die Seitensteuerung wurde dadurch sehr träge. Eine dosierte Betätigung der Seitensteuerung, während des Startlaufs oder beim Ausrollen nach der Landung, war nicht mehr möglich.

Die Auswertung des FDR zeigte, dass es auch schon bei vorangegangenen Flügen im Startlauf zu unangenehmen Quereschleunigungen und Abweichungen in der Ausrichtung der Flugzeuglängsachse zur Startbahnrichtung gekommen war. Bei dem untersuchten Ereignis wurden erstmals die vom PF akzeptierten Grenzen überschritten. Es konnte nicht geklärt werden, ob das teilweise labile Rollverhalten des Flugzeugs nur aus dem erkannten Herstellungsfehler resultierte oder für die Boeing 757-300 typisch ist.

Der Hersteller Boeing hat am 31 Oktober 2000 die Betreiber von allen Baumustern (B737/B747/ B757), die in der Zeit vom 15. November 1998 bis zum 20. Juni 2000 gebaut wurden, mit einem SERVICE LETTER über den Herstellungsfehler informiert. Die BFU hat daher das Ergebnis der Untersuchung nicht zum Anlass für eine Sicherheitsempfehlung genommen.

Untersuchungsführer K. Büttner

