

## Proseminar

# Der Airbusabsturz LH2904 In Warschau

Frederik Bender

15. Januar 2003

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Einführung – Was passierte
- 2 Das Unglück
  - 2.1 Wichtige Definitionen vorab
  - 2.2 Eine reguläre Landeprozedur eines A 320
  - 2.3 Die Landeprozedur am 14. September
- 3 Die Bremssysteme des A-320
  - 3.1 Nose Wheel Steering
  - 3.2 Anti Skid
  - 3.3 Ground Spoiler Control
  - 3.4 Thrust Reverse System
  - 3.5 Wheel Brakes
- 4 Kritik an der FCOM
  - 4.1 Zustandsprädikat oder Aktion ?
  - 4.2 Andere semantische Zweideutigkeiten
  - 4.3 Mangel an Gleichmäßigkeit in der Syntax
  - 4.4 Fehleranalyse per Prädikaten-Aktions Diagrammen
- 5 Fazit
- 6 Anhang – Aufzeichnung des Voice-Recorders des Cockpits
- 7 Quellen

## 1. Einführung – Was passierte

Am 14. September 1993 startet in Frankfurt ein Airbus A 320 der Deutschen Lufthansa mit Flugnummer LH 2904 zu einem ganz normalen Linienflug in Richtung Warschau. Bis Warschau verläuft der Flug planmäßig ohne Zwischenfälle. Als die Maschine im Luftraum über Warschau eintrifft, ist es kurz vor halb vier nachmittags. Das Wetter ist schlecht, es geht ein leichter Sturm und der Himmel hängt voller Gewitterwolken. Trotzdem ist es noch gut genug für eine sichere Landung. Der Kapitän des A 320 setzt also zur Landung an. Routinemäßig bringt er das Flugzeug auf den Boden, als er allerdings die Geschwindigkeit drosseln will, um die Maschine zum stehen zu bringen, funktionieren die Bremssysteme nicht. Erst nach 13 Sekunden Bodenkontakt entfalten sie ihre komplette Bremsleistung; zu spät um den Airbus rechtzeitig zu stoppen. Er rast über die Landebahn hinaus und wird erst von einem Erdwall hart gebremst. Aus einem beschädigten Flügel läuft Kerosin aus und entzündet sich nach kurzer Zeit. Das Flugzeug steht in Flammen. Nur dem schnellen Handeln der Flugzeugcrew ist es zu verdanken, dass bis auf den Co-Piloten und einem Passagier alle weiteren 68 Insassen das Unglück lebendig überstehen.

## 2. Das Unglück

### 2.1. Wichtige Definitionen vorab

#### EFCS - Electrical Flight Control System

Das EFCS übernimmt die Steuerung des Flugzeugs. Es setzt die Steuerbefehle des Piloten bzw. Autopiloten in die entsprechende Flugbewegung um und wirkt dabei Fehlern der Piloten entgegen. Es macht es unmöglich, die zulässigen Grenzbereiche des Flugzeugs, wie zum Beispiel die maximale Geschwindigkeit im Sinkflug oder die Mindestgeschwindigkeit der jeweiligen Fluglage zu über- bzw. zu unterschreiten.

Das EFCS beinhaltet mehrere Computer, die die Höhen- und Querruder bedienen. Ebenso untersteht ihm die Brems- und Landeklappenkontrolle, sowie die Seitenrunderkontrolle

#### Windshear – Windscherung

Windshear ist ein plötzlicher, schneller Wechsel von Windgeschwindigkeit oder Richtung. Scherwinde sind häufig, aber nicht nur in Gewitterzonen oder anderen höchst instabilen atmosphärischen Wetterereignissen zu finden. Die gefährlichste Art des Windshears ist der sogenannte Microburst, eine vertikale Zone, in der die Luft schnell in Richtung Boden strömt. Nach Erreichen des Erdbodens spreizt sich diese Zone horizontal und bildet somit horizontale Strömungen. Das Einfliegen in einen Microburst ist extrem gefährlich für ein Flugzeug, weil die dort vorherrschenden Strömungen stärker sein können, als die maximale Steigleistung (Maximum Climb Performance) des Flugzeuges.

### 2.2. Eine reguläre Landeprozedur eines A 320

Im Landeanflug werden das Fahrwerk und die Landeklappen ausgefahren. Wenn das Flugzeug unter 50 Fuß sinkt, wechselt das EFCS in den Lande-Modus. Während des Anflugs ertönt eine automatische Höhenansage für 100, 50, 40, 30, 20 und 10 Fuß. Sobald die Flughöhe unter 30 Fuß gefallen ist, verringert der EFCS innerhalb von 8 Sekunden den

Neigungswinkel um zwei Grad. Der Pilot muss dabei seinen Steuerknüppel zurückziehen. Dies simuliert einen Effekt, der bei „normalen“ Flugzeugen ohne EFCS zu spüren ist (Rütteln im Steuerknüppel und erhöhter Kraftaufwand des Piloten).

Bei Bodenkontakt ertönt „Retard! Retard! Retard!“ um die Piloten daran zu erinnern, die Schubumkehr zu aktivieren. Die beiden Hauptfahrwerke haben zuerst Bodenkontakt. Sobald auf beiden Stoßdämpfern 12 Tonnen Gewicht aufliegen geben die entsprechenden Sensoren das A/G-Signal (Air-Ground-Transition / Bodenkontakt) an das EFCS weiter. Dies ist das Signal das das Ausfahren der Bremsklappen und die Aktivierung der Schubumkehr ermöglicht. Sobald beide Räder eine Drehgeschwindigkeit von 0,87-mal der Flugzeuggeschwindigkeit (engl. reference speed) erreichen, wird zusätzlich das Radbremssystem aktiviert und die Maschine kommt allmählich zum Stillstand.

### 2.3. Die Landeprozedur am 14. September

Als sich die Maschine des Flug LH 2904 über dem Luftraum Warschaws befindet, werden die Piloten über die Wetterverhältnisse aufgeklärt. Ihnen wird von starken Seitenwinden und einem Windshear berichtet. Da die reguläre Landebahn zu dieser Zeit gesperrt ist, beginnt der Pilot auf einer verkürzten, 2800 m langen Landebahn seinen Landeanflug. Wie bei einem Windshear empfohlen, erhöht der Pilot die Anfluggeschwindigkeit dabei um 20 Knoten, um den Windshear gefahrlos und schnell zu durchfliegen. Kurz vor Bodennähe ändern sich jedoch die Windverhältnisse und es herrscht plötzlich starker Rückenwind. Die Piloten des A 320 werden davon allerdings nicht in Kenntnis gesetzt, und so beginnt die Maschine ihre Landeprozedur mit zu hoher Geschwindigkeit. Dadurch setzt der Airbus erst 770 m nach Beginn der Landebahn auf. Da der Pilot jedoch immer noch von Seitenwindverhältnissen ausgeht, benutzt er kurz vor Bodenkontakt die Seitenrudder um das Flugzeug in eine gewisse Schräglage zu bringen um so den Seitenwind auszugleichen. Da dieser jedoch gar nicht mehr vorhanden ist, hat dieses Manöver zur Folge, dass der erste Bodenkontakt nur mit dem rechten Fahrwerk gemacht wird. Erst 9 Sekunden später hat dann auch das linke Fahrwerk Bodenkontakt. In diesen 9 Sekunden versucht der Pilot vergeblich die Schubumkehr und alle anderen Bremsen des Flugzeuges zu aktivieren, da das dafür notwendige A/G-Signal (Air-Ground-Signal) erst aktiv ist, wenn auf **beiden** Fahrwerken ein Gewicht von jeweils 12 Tonnen aufliegt. Nachdem schließlich auch auf dem linken Fahrwerk die nötigen 12 Tonnen Gewicht aufliegen, entfalten sich die Bremsklappen und die Schubumkehr wird aktiviert. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich das Flugzeug bereits 1525 m hinter der Anfangsmarkierung der Landebahn. Da sich jedoch eine dicke Aquaplaning-Verursachende Wasserschicht auf der Landebahn befindet und das Flugzeug durch die erhöhte Geschwindigkeit immer noch zu viel Auftrieb hat, erreichen die Räder der Fahrwerke erst nochmals 4 Sekunden später, die für die Aktivierung der Radbremsen benötigte Umdrehungsgeschwindigkeit. Im Endeffekt bedeutet das, dass die komplette Bremsleistung des Airbusses erst nach 13 Sekunden Bodenkontakt entfaltet werden kann. Nun bleiben den Piloten noch 1300 m um das Flugzeug zum stehen zu bringen. Gemeinsam stehen sie auf die Pedale der Radbremse und schaffen es binnen 1100m die Geschwindigkeit der Maschine auf 70 Knoten zu drosseln. Doch dann baut sich eine weitere Unglückskomponente auf, die so genannte „Rubber Reversion“. Dies ist ein chemischer Prozess, bei dem die Hitze, die sich durch den Bremsvorgang entwickelt, mit dem Wasser (Regen) auf der Landebahn, dem Sauerstoff aus der Luft sowie dem Kohlenstoff im Gummi der Reifen reagiert. Dabei entsteht eine Art Wasserdampfkissen, auf dem die Reifen ähnlich wie beim Aquaplaning nicht mehr greifen können, und somit die Bremsleistung der Radbremsen wiederum verloren geht. Als der Kapitän erkennt, dass er eine Kollision mit dem sich am Ende der Landebahn befindenden Erdwall nicht mehr vermeiden lässt, nutzt er das rechte Seitenrudder um die Maschine quer zu stellen. Mit 100 km/h „fährt“ das Flugzeug

den Erdwall hoch, bäumt sich auf und schlägt auf der anderen Seite krachend herunter. Durch das Querstellen des Flugzeuges wird der Aufprall erheblich gemildert. Das linke Triebwerk federt die Wucht des Aufschlages ab, aber die Tragfläche reißt auf. Kerosin tritt aus und entzündet sich am heißen Triebwerk.

Obwohl das Flugzeug komplett ausbrennt, gelingt fast allen Passagieren und Crewmitgliedern die Flucht. Die einzigen Todesopfer des Unglücks sind der Co-Pilot (durch den harten Aufschlag reißt die Aorta von seinem Herzen ab) und ein Passagier, der durch den entstehenden Rauch bewusstlos wird und nicht mehr fliehen kann.

### 3. Die Bremssysteme des A-320

Der Airbus A-320 ist das erste Passagierflugzeug, in dem das sogenannte ‚fly-by-wire‘ Kontrollsystem zum Einsatz kommt. Das bis dahin nur in Militärflugzeugen zum Einsatz gekommene digitale Kontrollsystem übernimmt die eigentliche Steuerung der Maschine. Dabei werden Inputsignale von Sensoren und Piloten von einem Computer ausgewertet und verarbeitet und als Outputsignale an die entsprechenden Steuereinheiten des Flugzeuges weitergegeben. Dadurch steht der Pilot nun nicht mehr in physischem Kontakt zu seiner Maschine, sondern agiert vielmehr als eine Art Computeranwender.

Der Computer, der speziell für die Bremssysteme verantwortlich ist, wird als Brake And Steering Control (BSCU) bezeichnet. Er kontrolliert alle vorhandenen Bremseinheiten.

#### 3.1. Nose Wheel Steering

Die Nose Wheel Steering (NWS), oder im Deutschen auch Bugradsteuerung, wird benutzt, um das Flugzeug bei geringen Geschwindigkeiten am Boden zu lenken. Beispielsweise benutzt der Pilot die NWS um das Flugzeug vom Stellplatz auf die Startbahn zu fahren oder auch um es bei der Startbeschleunigung anfangs in der Spur zu halten. Bei hoher Geschwindigkeit beginnt aber auch das NWS aerodynamisch zu wirken und der Pilot muss weitere Lenkkorrekturen oberhalb von 80 Knoten mit den Fußpedalen und damit mit den Quer- und Seitenrudern durchführen.

#### 3.2. Anti Skid

Das Anti Skid System (im Folgenden bezeichnet als A/SKID) ist mit dem von Autos her bekannten Anti Blockier System (ABS) zu vergleichen. Die Aufgabe des A/SKID ist es, durch variieren der auf die Räder wirkenden Bremsleistung, ein Blockieren der Räder zu verhindern, und damit der Zerstörung des Reifens vorzubeugen und gleichzeitig eine möglichst maximale Bremswirkung zu erzielen.

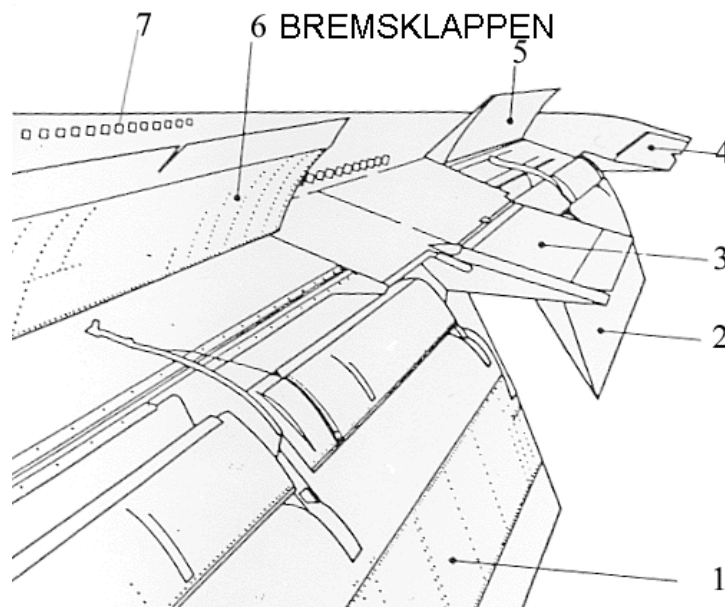
Erreicht wird dies durch einen Vergleich der per Tachometer gemessenen Geschwindigkeiten an den Rädern des Hauptfahrwerkes mit der eigentlichen Geschwindigkeit des Flugzeuges (reference speed). Unterschreitet dabei die an den Rädern gemessene Geschwindigkeit die Grenze ‚0.87 mal reference speed‘, so werden Signale zur Verringerung der Bremsleistung an die Bremssysteme gesendet. Dadurch wird ein ‚Blockieren‘ der Räder verhindert und somit die Bremswirkung maximiert.

### 3.3. Ground Spoiler Control

Beim Landemanöver werden nach dem Aufsetzen der Maschine die sogenannten Ground Spoiler (Bremsklappen) and der Flügeloberseite ausgefahren. Durch dieses Aufstellen der Spoiler wird der Auftrieb des Flügels zerstört und gleichzeitig ein erhöhter Luftwiderstand gebildet. Dies gibt den Rädern der Maschine mehr Bodenhaftung und die Bremsleistung der Radbremse wird erhöht.

Die Ground Spoiler werden bei der Landung automatisch ausgefahren, sobald alle Antriebsquellen ausgeschaltet werden oder an mindestens einem Triebwerk die Schubumkehr aktiviert wird. Voraussetzung ist, dass entweder das A/G-Signal anliegt, oder aber die Räder eine Geschwindigkeit von 72 Knoten überschreiten. Zusätzlich müssen sie natürlich auch aktiviert sein. Dies geschieht durch manuelle Betätigung eines dafür vorgesehenen Hebels im Cockpit der Maschine.

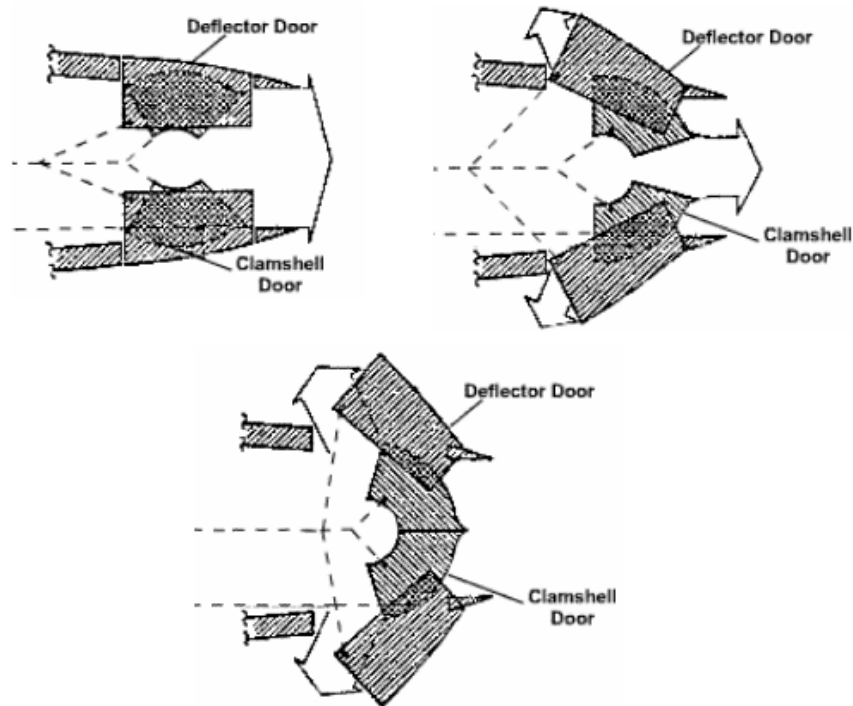
Eingefahren werden die Ground Spoiler sobald sie manuell deaktiviert werden oder aber ein erneutes ‚Durchstarten‘ des Flugzeuges erkannt wird. Dies ist der Fall, sobald sich der Gashebel, der den Schub der Triebwerke regelt, in einer Stellung über 20° bzw. mehr als 3 Sekunden zwischen 4° und 20° befindet.



### 3.4. Thrust Reverse System

Das Thrust Reverse System (Umkehrschub) ist ein weiteres Mittel um den Bremsweg bei einer Landung zu reduzieren. Es ist Bestandteil eines jeden Triebwerkes. Wird es aktiviert, so werden sogenannte Clamshell Doors (Muschelschalentüren) in Bewegung gesetzt. Diese sitzen am hinteren Ende des Triebwerkes und leiten im aktivierten Zustand die Antriebsgase, die im Normalfall für den Schub des Flugzeuges sorgen, in die entgegengesetzte Richtung durch Öffnungen, die durch Aktivierung sogenannter Deflector Doors entstehen, um. Dies erzeugt einen Schub entgegen der Fahrtrichtung und führt zu einer enormen Bremswirkung. Ab und zu wird die Schubumkehr auch dazu benutzt, um ein Flugzeug rückwärts zu bewegen. Wegen des hohen Lärmaufkommens, das daraus resultiert, werden normalerweise aber eher Schleppfahrzeuge verwendet.

Um die Schubumkehr überhaupt aktivieren zu können, muss das A/G-Signal anliegen. Dann kann der Pilot sie jederzeit zu den anderen Bremssystemen dazuschalten. Allerdings ist dies nur bei glatter oder nasser Fahrbahn nötig, da im Normalfall auch die anderen Bremssysteme alleine genug Bremswirkung erzielen, um die Maschine rechtzeitig zum Stehen zu bringen.



### 3.5. Wheel Brakes

Für die sogenannten Wheel Brakes (Radbremzen) stehen vier unterschiedliche Betriebsarten zur Verfügung. Die Bezeichnungen dafür sind Normal Braking, Alternate Braking mit Anti-Skid, Alternate Braking ohne Anti-Skid und Parking Brake. Bestandteil des Bremssystems sind außerdem Karbon Brems scheiben, die an jedem Rad des Hauptfahrwerkes für die Bremsleistung sorgen, und zwei unabhängige Bremskreisläufe. Der grüne hydraulische Bremskreisläufe kommt dabei beim Normal Braking zum Einsatz, der gelbe hydraulische Bremskreisläufe, der zusätzlich einen Druckspeicher enthält, bei den anderen drei Modi. Die vier Modi im Detail:

#### Normal Braking

Das Normal Braking wird verwendet, wenn A/SKID und Nose Wheel Steering aktiviert sind und der grüne Bremskreisläufe genug Druck erzeugen kann, um die nötige Bremsleistung zu erzielen. Die Brems signale, die in der BSCU ankommen, stammen entweder von den Bremspedalen, die der Pilot manuell betätigt, oder aber von einem automatischen Bremssystem. Im Flug ist dies der Fall, sobald der Pilot den Lande hebel betätigt, und somit das Flugzeug in den Landezustand versetzt. Auf dem Boden wirkt das automatische Bremssystem, sobald die Ground Spoiler ausgefahren werden. Beim automatischen Bremssystem hat der Pilot die Möglichkeit, eine gewisse Abbremsrate einzugeben, so dass das System die Maschine automatisch in der eingegebenen Geschwindigkeit abbremsst.

### **Alternate Braking mit Anti-Skid**

Diese Betriebsart kommt zum Einsatz, wenn die gleichen Bedingungen wie beim Normal Braking herrschen, der grüne Bremskreislauf aber nicht genügend Druck erzeugen kann. Ist dies der Fall, wird automatisch auf das Alternate Braking umgeschaltet. In diesem Modus ist das automatische Bremssystem nicht mehr wirksam. Der Pilot kann das Flugzeug nur noch manuell per Bremspedal abbremsen.

### **Alternate Braking ohne Anti-Skid**

Dieser Modus kommt zum Einsatz, sobald das A/SKID deaktiviert wird. Dies kann geschehen, wenn der dafür vorgesehene AUS-Knopf betätigt wird, es einen Fehler in der Energieversorgung oder in der BSCU gibt, oder aber wenn beide Hydraulikkreisläufe nur geringen Druck erzeugen können.

Ist Letzteres der Fall, wird der benötigte Bremsdruck vom Druckluftspeicher geliefert. Dieser ist so konstruiert, dass die gespeicherte Druckluft für mindestens sieben Vollbremsungen ausreicht.

Da das A/SKID nicht aktiv ist, liegt es am Piloten, den Bremsdruck der auf die Räder wirkt, so zu dosieren, dass diese nicht blockieren.

### **Parking Brake**

Die Parking Brake des Flugzeuges ist sozusagen die Handbremse im Auto. Sie wird aktiviert um das Flugzeug im Stehen am Wegrollen zu hindern. Sobald der entsprechende Hebel dafür betätigt wird, werden alle anderen Bremsmodi, sowie das A/SKID deaktiviert. Der benötigte Bremsdruck stammt hierbei entweder vom gelben Kreislauf oder wiederum vom Druckluftspeicher. Dieser kann den benötigten Druck für mindestens zwölf Stunden aufrechterhalten.

## **4. Kritik an der FCOM**

FCOM bedeutet Flight Crew Operating Manual und ist sozusagen die Bedienungsanleitung des A-320. Es werden darin alle notwendigen Funktionseigenschaften des Airbusses beschrieben. Es gibt allerdings einige Kritikpunkte an der FCOM, die unter Umständen zu einem mangelhaften Verständnis einiger Funktionen führen können. Diese werden im Folgenden erläutert.

### **4.1. Zustandsprädikat oder Aktion ?**

Der erste Kritikpunkt an der FCOM resultiert aus der Grammatik der englischen Sprache, in der die FCOM verfasst wurde. In der einfachen Beschreibung von einigen Funktionen ist es nicht immer eindeutig, ob gerade von einem Zustand oder von einer Aktion die Rede ist. Beispielsweise ist nicht klar, ob mit dem Satzteil .... IS ARMED WHEN .... ein Zustand oder eine Aktion ausgedrückt werden soll. Um dies besser zu verdeutlichen betrachten wir ein konkretes Beispiel. In der Beschreibung der Ground Spoiler, wird folgender Satz verwendet, der das Einfahren der Ground Spoiler beschreibt.



**Ground spoilers retraction is achieved WHEN (all thrust levers are set at idle AND speed brake control lever is pushed down) OR [...]**

Nehmen wir nun an, die Spoiler wären ausgefahren, alle Schubhebel auf AUS gestellt und der Hebel für die Bremsen nach unten gestellt. Für die Bedingung nach dem OR nehmen wir an sie wäre FALSE. Nun ist zu unterscheiden ob mit dem Teil ‚speed brake control lever is pushed down‘ ein Zustand oder eine Aktion beschrieben ist. Ist damit ein Zustand gemeint, so liegt gegebener Maßen ein Fehler im System vor. Ist allerdings eine Aktion damit gemeint, so liegt nicht unbedingt ein Fehler vor. Dann führt nämlich erst die Bewegung des Hebels, von oben nach unten, zu der gewünschten Aktion der Ground Spoiler.

## 4.2. Andere semantische Zweideutigkeiten

Wenn man die Semantik der FCOM einmal genauer betrachtet, so fallen darin noch einige andere Zweideutigkeiten auf:

- Ist mit ‚[...] disarmed by action on one pedal only‘ ein einfaches Drücken oder aber ein längeres Halten des Pedals in gedrückter Stellung gemeint?
- Bei der Beschreibung der Auto Brake ist von drei Schaltern die Rede, die die Auto Brake in den Zustand LOW, MED oder MAX versetzen. Was aber passiert, wenn mehrere Schalter gleichzeitig betätigt werden, ist hier nicht beschrieben. Gibt es noch mehrere Zwischenzustände oder wird das Drücken von mehreren Schalter vom Computer erkannt und verhindert? Wir vermuten mal das Letztere.
- Verwirrend ist teilweise auch die Angabe der Geschwindigkeiten. Im Laufe des Textes ist ab und zu von ‚Ground Speed‘ aber auch von ‚Reference Speed‘ die Rede. Beides sind unterschiedliche Geschwindigkeiten. Welche der beiden ist aber gemeint, wenn lediglich von ‚Speed‘ die Rede ist? Ground Speed oder Reference Speed? Ein Problem, das sich sehr leicht hätte verhindern lassen können.
- Der Hydraulikdruck wird in der FCOM abwechselnd mit ‚available‘, ‚insufficient‘ und ‚lo press‘ beschrieben. Was soll dies aber bedeuten, und vor allem, ist ‚insufficient‘ ein Synonym für ‚lo press‘ ?
- Bei der Beschreibung der Parking Brake ist der Satz ‚Operating the PB control deactivates the other braking modes and anti-skid‘. Wenn man nun aber kleinlich ist, so nimmt man das Wort ‚operating‘ in seiner eigentlichen Bedeutung, und da beinhaltet es sowohl ein Aktivieren aber auch ein Deaktivieren der Parking Brake. Demnach würden auch bei einer Deaktivierung der Parking Brake alle anderen Bremsmodi deaktiviert werden, was nicht unbedingt der gewünschte Effekt ist. Warum hier nicht einfach der Satz etwas modifiziert wurde und beispielsweise ‚operating‘ durch ‚moving in ON position‘ ersetzt wurde, lässt sich wohl nur dadurch erklären, dass sich die Verfasser der FCOM nicht genügend Gedanken darüber gemacht haben.
- Das letzte Beispiel, das wir hier betrachten wollen, ist der Satzteil  
 [...] Y + G sys lo press [...]  
 Für den Normalverbraucher ist hier wohl klar, dass es sich bei dem Pluszeichen um ein logisches UND handeln muss. Anders jedoch bei den Ingenieuren unter uns. In der Boolean Notation bedeutet ein ‚+‘ nämlich ein logisches OR!

Man sieht also, es gibt doch einige gravierende semantische Mängel an der FCOM. Klar, bei einigen der oben aufgeführten Beispiele lässt sich eine etwaige Zweideutigkeit mit

logischem Menschenverstand beseitigen. Dennoch sollte man auch auf diese kleinen Fehler aufmerksam machen, gerade bei solch wichtigen Dokumenten wie der Beschreibung eines Airbusses.

### 4.3. Mangel an Gleichmäßigkeit in der Syntax

Der nächste Kritikpunkt, den ich hier ansprechen möchte, bezieht sich auf die Syntax der FCOM. Einig Unkonformitäten und Abkürzungen in der Schreibweise führen zu einem erschwerenden Verständnisproblem. Dabei haben einige Bezeichnungen in derselben Bedeutung unterschiedliche Schreibweisen. Beispiele hierfür sind ‚speed brake control lever‘ und ‚speed brakes control lever‘ oder auch ‚Anti skid‘ und ‚anti-skid‘. Wesentlich problematischer sind jedoch die verwendeten Abkürzungen. So braucht man doch einiges an kombinatorischem Denkvermögen um alle Abkürzungen wieder auf ihre vollständige Bedeutung zurückzuführen. Beispiele hierfür sind ‚sw‘ für ‚switch‘, ‚Tachy‘ für ‚tachometer‘ oder auch ‚N/W STRG‘ für ‚Nose Wheel Steering‘. Einige der verwendeten Abkürzungen blieben mir auch trotz intensiver Recherche in ihrer Bedeutung unbekannt.

### 4.4. Fehleranalyse per Prädikaten-Aktions Diagrammen

In den oberen Kritikpunkten wurden hauptsächlich semantische und syntaktische Fehler analysiert. In diesem Abschnitt soll nun ein Auge auf die logische Korrektheit der FCOM geworfen werden. Ein gutes Hilfsmittel, um logische Fehler in der Beschreibung zu finden, sind sogenannte Prädikaten-Aktions Diagramme. Sie veranschaulichen den geschriebenen Text graphisch und helfen so Lücken zu finden und zu schließen. Ein PA-Diagramm besteht aus Knoten, Pfeilen und Ellipsen. Die Knoten bezeichnen dabei die erreichbaren Zustände, die Pfeile die Aktionen, die einen Zustand in einen anderen überführen, und die Ellipsen bezeichnen die Prädikate der Zustände.

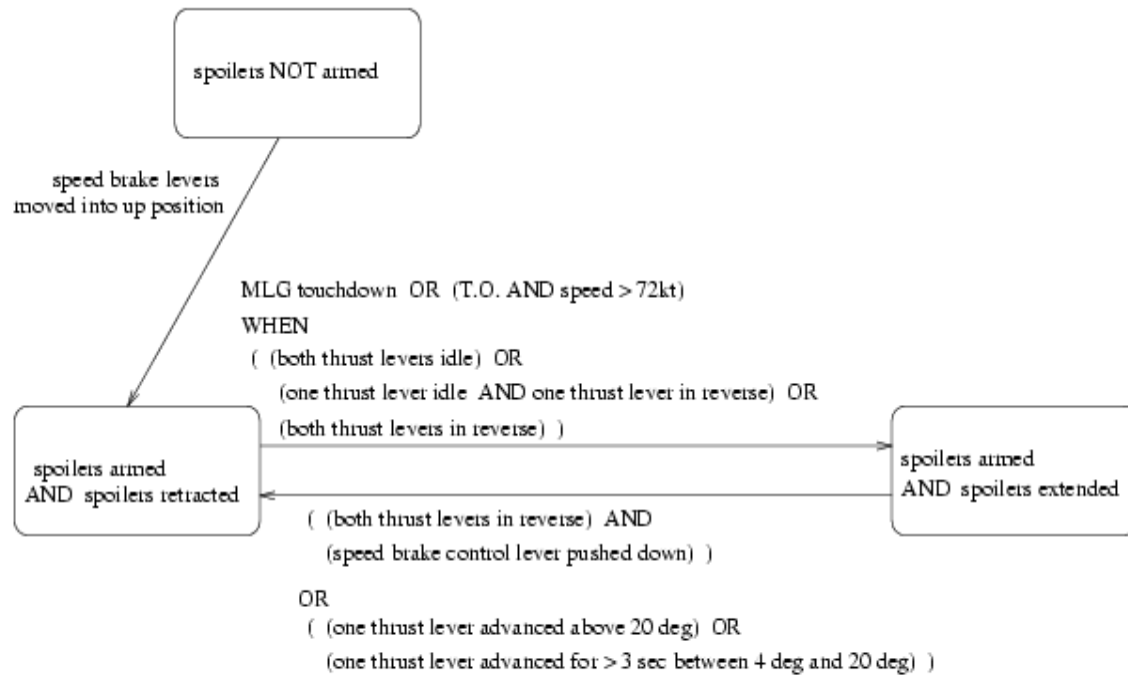
Ein Beispiel, wie man bestehende Lücken der FCOM findet und schließt, bietet die Beschreibung der Ground Spoiler:

#### Flight Controls Description (1.27.10: REV 18, SEQ 106, P 11)

##### Ground Spoiler Control

Achieved by the spoilers 1 to 5.

- Ground spoilers are armed when the speed brakes control lever is pulled up into the armed position.
  - Ground spoilers automatically extend:
    - (At MLG touch down) OR (During T.O run at speed greater than 72 KT)
- WHEN
- (They are armed and all thrust levers are at idle) OR
  - (When reverse is selected on at least one engine (remaining engine at idle))
- Ground spoilers retraction is achieved when:
    - (All thrust levers are set at idle) AND (Speed brake control lever is pushed down)
- OR
- One thrust lever advanced
    - above 20°
    - at least 3 sec between 4° and 20°



**Fig. 4.** Ground Spoiler Deployment from the FCOM Specification

Betrachtet man das PA-Diagramm der Ground Spoiler, so fallen einem direkt einige Dinge ins Auge. Beispielsweise gibt es weder einen Pfeil von ‚spoilers NOT armed‘ zu ‚spoilers armed AND spoilers extended‘. Man vermutet natürlich ziemlich schnell, dass man weder die Spoiler ausfahren kann, wenn man sie nicht aktiviert hat, noch die Spoiler deaktivieren kann, solange sie ausgefahren sind. Dennoch ist dies keine triviale Schlussfolgerung und bleibt darum auch lediglich eine Vermutung. Daher sollten dies Fälle, falls unsere Vermutung so richtig ist, explizit ausgeschlossen werden.

Was allerdings offensichtlich eine Lücke darstellt, ist ein fehlender Pfeil von ‚spoilers armed AND retracted‘ zu ‚spoilers NOT armed‘. Schließlich muss es ja einen Weg geben, um die Ground Spoiler nach einer Aktivierung wieder zu deaktivieren. Wie dies aber funktioniert, bleibt in der FCOM unausgesprochen. Dies ist nun ein Fall, in dem wir versuchen die bestehende Lücke zu schließen. Nach genauerer Betrachtung wird einem klar, dass die Deaktivierung eigentlich nur durch ein Betätigen der Bremshebel in die Aus-Position durchgeführt werden kann. Dies ist eine logische Schlussfolgerung aus der Umkehrung der Aktion. Ob diese richtig ist und ob dies die einzigste Methode ist, eine Deaktivierung durchzuführen, ist aber dennoch nicht garantiert.

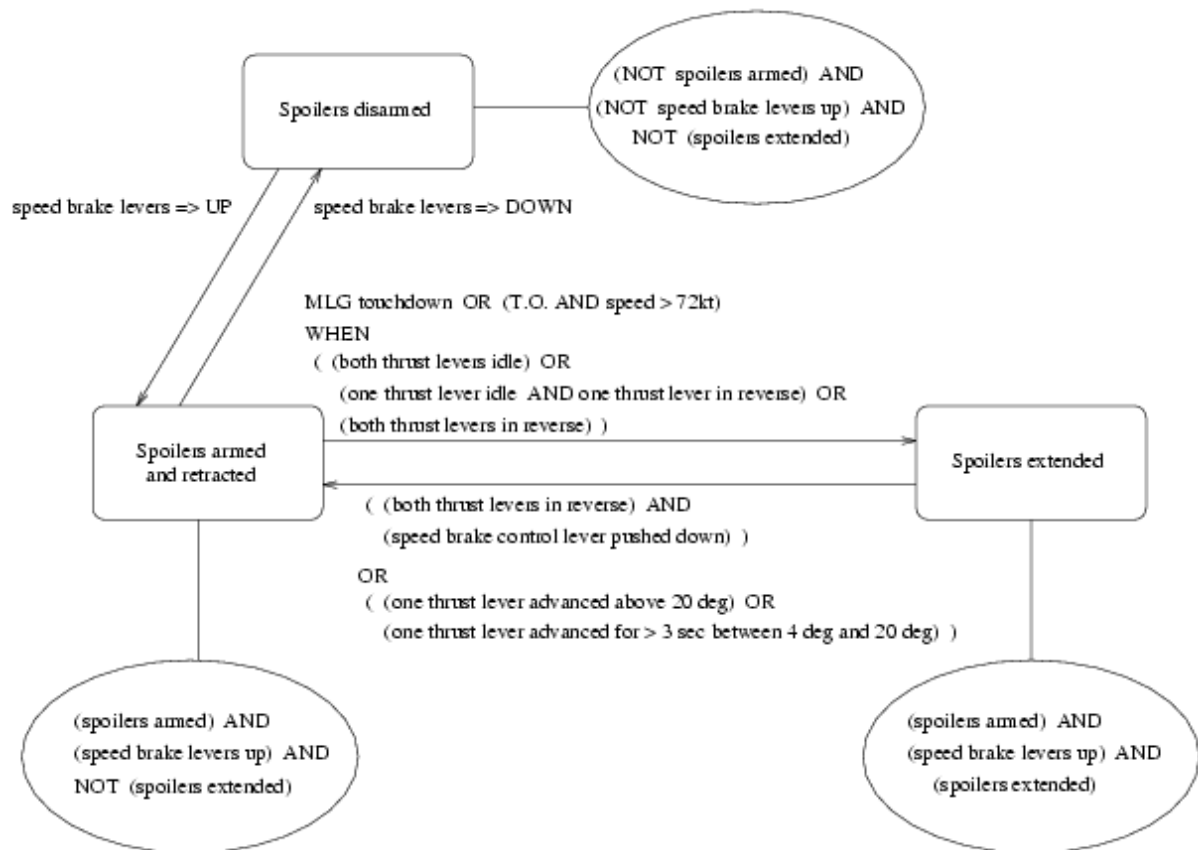


Fig. 8. Revised Ground Spoiler Deployment Diagram

## 5. Fazit

Letztendlich kann man sagen, dass sich der Absturz des Airbus nicht auf eine einzige Ursache beschränken lässt. Vielmehr sind es mehrere Dinge, die hier böse zusammengespielt haben. Angefangen hat es mit dem schlechten Wetter und den Windverhältnissen, die zusammen mit den mangelhaften Wetterdaten aus dem Tower, das Unglück einleiteten. Des Weiteren kann man auch die Zuverlässigkeit der vollautomatischen Sicherheitssysteme der Bremsen kritisieren, vor allem die Tatsache, dass sie sich im Notfall nicht manuell umgehen lassen können. Eine dritte Ursache war sicherlich auch, dass wohl keiner der Piloten die Voraussetzungen für ein Aktivieren der Bremssysteme kannte. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Beschreibung des A-320 zu viele Ungenauigkeiten und teilweise widersprüchliche Schaltlogiken beinhaltet. So ist es für Piloten sehr schwer oder sogar unmöglich, Antworten auf tiefere Fragen zu bekommen um somit ihr Flugzeug richtig verstehen zu können. Ganz sicher ein Kritikpunkt um den sich die Flugzeugingenieure noch kümmern sollten.

## 6. Anhang – Aufzeichnung des Voice-Recorders des Cockpits

### Legende:

PF: Pilot Flying (Pilot)  
 PNF: Pilot Not Flying (Co-Pilot)  
 PUR: Purser (Chefsteward)  
 TWR: Tower  
 APP: Approach (Anflugkontrollstelle der Flughafensicherung)  
 PJS101: Jet Aviation Flight 101  
 VR-BIZ: Bizjet

15.29:10 TWR Lufthansa two-nine-zero-four, turn right zero-eight-zero to lock on ILS one-one, cleared approach as number 2, call when established, two-four kilometers to go

15.29:19 PNF Zero-eight-zero and cleared the ILS, Lufthansa two-nine-zero-four

15.29:23 PF (Four?) hundred

15.29:24 APP Jetaviation one-zero-one, you are cleared to land runway one-one, wind is one-six-zero degrees, two-five kilometers an hour

15.29:29 PF Flaps two

15.29:31 PJS101 Cleared to land runway one-one, Jetaviation one-zero-one

15.29:38 PNF (Noch hundert?)

15.29:40 Klack - bist leicht übern glideslope

15.29:42 PF Stimmt

15.29:46 PNF Ungefähr eine daumenbreite

15.29:47 APP ?transmission in Polish language

15.29:52 PUR Kabine ist klar

PF Danke

15.29:55 Clack (Tür)

15.29:58 PF Sonst schaffe ich das nicht

15.30:03 PNF ... gute idee

15.30:06 PNF Gear down

15.30:07 PF Gear down

15.30:08 (lever- and extension noise)

15.30:14 (gong - Höhenwarnung)

15.30:16 PF Jetzt hat er ihn [glideslope]

15.30:17 PNF Genau

15.30:23 PF Dreitausendachthundert [missed approach altitude]

VR-BIZ Victor India Zulu, standing by for lower

15.30:27 APP ... -Z, maintain one-four-zero due to military activity area

15.30:33 APP Jetaviation one-zero-one, you've landed three-zero, call tower one-two-one point six, thank you, bye bye

15.30:45 PNF Lufthansa two-nine-zero-four is established

15.30:48 APP Lufthansa two-nine-zero-four continue ILS approach runway one-one sa number one, call tower one-two-one point six, thank you, see you later

15.30:56 PNF Roger, one-six, bye bye

15.31:00 PNF Tower, good afternoon, Lufthansa two-nine-zero-four ILS runway one-one

15.31:07 TWR Lufthansa two-nine-zero-four, continued ILS approach, call me Outer Marker, wind one-six-zero degrees two-five kilometers per hour and before landing, eh it was report windshear on the final runway one-one  
 15.31:18 PF Windshear  
 15.31:21 PNF Roger, that's understood, I call you Outer Marker  
 15.31:24 Click  
 15.31:25 PF Flaps three  
 15.31:26 PNF Flaps three  
 PJS101 Warsaw tower, good evening, Jetaviation one-zero-one is vacating runway one-one on taxiway E-zero, for information we had severe windshears on final  
 15.31:29 PF Flaps full  
 15.31:30 PNF Flaps full  
 15.31:31 PNF Muss ja sein, noch haben wir zwei-vierzig mit dreissig knoten  
 15.31:36 TWR Thank you very much for information, Jetaviation one-zero-one, vacate to the left via taxiway A and continue a straight ahead and report follow car when will be in sight  
 15.31:47 PJS101 Jetaviation one-zero-one, going straight in A and ah we look for the follow me car  
 15.31:48 PNF Aha, showers  
 15.31:55 PF Showers  
 15.32:05 TWR Lufthansa two-nine-zero-four, you are cleared to land runway one-one, wind one-six-zero degrees, two-five kilometers per hour  
 15.32:11 PNF Cleared to land, one one, Lufthansa two-nine-zero-four  
 15.32:14 PF Dreht ja noch ordentlich  
 15.32:16 PNF Muss ja drehen  
 15.32:17 PF Muss ja, das kann ja gar nicht anders sein  
 15.32:23 PNF Gut  
 15.32:27 PF Mach bitte mal die ignition an  
 15.32:32 PNF Landing checklist available  
 15.32:33 PF Landing checklist  
 15.32:36 PNF Landing  
 15.32:37 PNF Landing, all green  
 15.32:38 PF Landing, all green  
 15.32:42 ?? ... .. minimum ...  
 15.32:50 PJS101 Follow me in sight, one-zero-one  
 15.32:53 TWR Jetaviation one-zero-one, roger, follow the car messages, good bye  
 15.32:57 PNF Field in sight  
 15.32:58 PF Visual  
 15.33:00 PF Immer noch von achtern  
 15.33:02 PF Rate of descent is out of limits  
 15.33:03 PNF Ja, elf hundert fuss  
 15.33:05 (whistle - seat)  
 15.33:08 PF Rain repellent, bitte  
 15.33:10 (noise of windscreen wiper)  
 15.33:15 ACO Four hundred  
 15.33:20 ACO Three hundred

15.33:26 ACO Two hundred  
TWR transmission in Polish language  
15.33:29 PNF Von rechts kommt jetzt  
15.33:31 PF Jetzt kommt die windshear  
15.33:33 ACO One hundred  
15.33:36 PNF Dreht, dreht  
15.33:37 ACO Fifty  
15.33:39 ACO Thirty  
15.33:40 ACO Retard, retard  
15.33:45 Clack (reverse lever noise?)  
15.33:49 PF Brems mal mit  
15.33:52 PF Full braking  
15.33:56 PNF Reverse auf?  
15.33:57 PF Ja's voll  
15.33:58 Clack  
15.34:01 PNF Hundert  
15.34:02 PF Weiter bremsen  
15.34:05 PF Scheisse  
15.34:06 PF Was machen wir jetzt?  
15.34:08 PNF (Tja?) du kannst nix mehr machen  
15.34:10 PF Ich möcht nicht da gegen knallen  
15.34:11 PNF Dreh'n weg  
15.34:12 PF Was?  
PNF Dreh ihn weg  
15.34:16 PF Scheisse!  
15.34:17 noise of crash

## 7. Quellen

Peter B. Ladkin, Analysis of a Technical Description of the Airbus A320 Braking System  
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Incidents/>  
[http://www.aviationsafetyonline.com/articles/german/mit\\_toedlicher\\_praezision.html](http://www.aviationsafetyonline.com/articles/german/mit_toedlicher_praezision.html)  
<http://aviation-safety.net>