

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/en/web/>).



Technische
Universität

Wien
Vienna University of Technology

Das gläserne Cockpit

Die Mensch-Maschine-
Schnittstelle in modernen
Verkehrsflugzeugen am
Beispiel des Airbus A320

Diplomarbeit

Alexander Zdravkowitsch, BSc, MSc

Das gläserne Cockpit

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle in modernen Verkehrsflugzeugen am Beispiel des Airbus A320

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Software Engineering & Internet Computing

eingereicht von

Alexander Zdravkowitsch, BSc, MSc

Matrikelnummer 8827865

an der

Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuer: a.o.Univ.Prof. Dr.phil. Wolfgang Hofkirchner

Wien, 15.10.2010

(Unterschrift Verfasser)

(Unterschrift Betreuer)

Eidesstattliche Erklärung

Alexander Zdravkowitsch, BSc, MSc
Rosalienweg 24, A-2352 Gumpoldskirchen

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Wien, 15.10.2010

Unterschrift

Kurzbeschreibung

Wer sich die Arbeit der Piloten im Laufe der vergangenen 100 Jahre ansieht merkt, dass sich die Distanz des Flugzeugführers zu seinem Werkzeug immer weiter vergrößert hat. Zu Beginn der Fliegerei saß der Pilot ungeschützt auf seiner Maschine, danach zwar in ihr, aber immer noch mit dem Kopf im Freien. Dadurch waren nicht nur persönliche Fähigkeiten ausschlaggebend, sondern auch das „Gespür“ für das Element Luft. In den 1930er Jahren wurde die Pilotenkabine eingeführt, mit der der Flugzeugführer von seinem Medium – der Luft – abgeschnitten wurde. Dennoch konnte er sich durch das Führen der Steuersäule, die ihm alle durch die Strömungen an Seiten- sowie Höhenruder verursachten Stöße mitteilte, ein Bild über die ihn umgebenden und für ihn informationsrelevanten Luftströme machen. Durch den Einbau der Hydraulik wurden diese Vibrationen jedoch gedämpft und nun – im Computerzeitalter – sind es elektrische Leitungen, die die Signale zum Betätigen der Ruder weiterleiten – die Abstraktion des Fliegens ist vollbracht. Wenn nicht der Ausblick aus dem Cockpit wäre, könnte der echte Flug nicht mehr von einer Computersimulation unterschieden werden.

Der Airbus A320 prägte den Begriff des sogenannten „gläsernen“ Cockpits. Mit seiner Einführung wurden erstmals in einem Verkehrsflugzeug alle mechanischen Zeigerinstrumente (mit Ausnahme der geforderten Notinstrumentierung) durch Bildschirme ersetzt. Auch wurde das schwere Steuergestänge, das das Steuerhorn direkt mit den Rudern verband, durch Steuercomputer und elektrische Leitungen (Fly-by-wire) ausgetauscht.

In der vorliegenden Diplomarbeit wird im ersten Teil das Cockpit moderner Verkehrsflugzeuge am Beispiel des Airbus A320 vorgestellt. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die eingesetzten Computersysteme und die Bedienung der Instrumente gelegt werden. Der zweite Teil befasst sich mit den Ursachen der Automatisierung, beschreibt Unfälle, die unmittelbar durch Computerfehler oder eine schlecht programmierte Mensch-Maschine-Schnittstelle verursacht wurden, und geht schließlich der Forschungsfrage nach, ob der vermehrte Computereinsatz zu einer Steigerung der Flugsicherheit geführt hat und ob durch eine weitere Automatisierung das derzeitige Zweipersonen-Cockpit durch ein Einpersonen-Cockpit ersetzt werden kann.

Der Airbus A320 soll in dieser Arbeit lediglich als Beispiel dienen. Wenn sinnvoll wird auch auf neuere Modelle wie z.B. Airbus A380 oder Boeing 787 Dreamliner eingegangen.

Abstract

If you take a look at the pilot's work area in the course of the past 100 years, you might notice that the distance between the pilot and his machine grew bigger and bigger. At the beginning the pilot sat unprotected on his aero plane, some years later in it, but still had his head outside. He had profound knowledge of his vehicle and the "feel" for the element air. In the 1930s, the closed cabin was introduced and for the first time the pilot was cut off from his medium. Nevertheless, just by touching his control column the pilot was able to feel all deflections from his control surfaces and therefore was able to get a clear picture of the surrounding airflow. Later these vibrations were damped by the installation of hydraulic cylinders and now – in the computer age – electric cables pass the input from the cockpit to the control surfaces – the abstraction of flying was accomplished. If it wasn't for the view from the cockpit windows, the real flight could not be distinguished from a computer simulation.

The Airbus A320 coined the term of the so-called "glass cockpit". With his introduction in the year 1988 and for the first time in history of commercial aviation all mechanical flight instruments (with the exception of the required set of back-up instruments) were replaced by CRT and now liquid crystal displays (LCD). Additionally Airbus got rid of heavy mechanical and hydro-mechanical flight control systems connecting the control wheel in the cockpit with the flight control surfaces on the wings. Instead they introduced an electronic interface where the movements of the flight controls are converted to electronic signals transmitted by wire – hence the term "Fly-by-wire".

Using the Airbus A320 as an example, the first part of this thesis describes the cockpit of modern civil aircrafts. Special attention will be paid to computer systems used and to the handling of the instruments. The second part deals with the causes of automation and describes accidents which were directly influenced either by computer errors or by badly programmed man-machine interfaces. The study concludes by answering the research question if the introduction of computers in modern airplanes had a significant effect on flight safety and if current two-member flight crews can be reduced with the help of additional automation and new computer technologies.

However, the Airbus A320 should only serve as an example. Current state-of-the-art cockpit technologies, like those introduced in an Airbus A380 or Boeing 787 Dreamliner, will be described to bridge the gap between the 1990s and the present.

Danksagung

Die Erarbeitung dieser Diplomarbeit hätte ich nicht ohne die Unterstützung zahlreicher Personen aus meinem beruflichen und privaten Umfeld meistern können. Deshalb möchte ich hier all jenen danken, auf deren Hilfe und Verständnis ich in dieser anspruchsvollen Zeit zählen konnte.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Philipp Haller, Pilot bei Austrian Airlines, aussprechen, der mich nicht nur mit entsprechendem Material über das Cockpit des Airbus A320 versorgt hat, sondern mir auch in mehreren Flügen – in denen ich als Observer im Cockpit sitzen durfte – die Technik des Airbus näher brachte. Ein besonderes Erlebnis war auch der Flug in einem Airbus A320 Full Motion Simulator, wo ich mein theoretisches Wissen auch in die Praxis umsetzen konnte. Sein Lektorat der Arbeit hat zusätzlich die Korrektheit der vorgestellten Technologien sichergestellt.

Ein herzliches Dankeschön ergeht auch an Herrn Ulrich Aigner, MBA. Er hat nach der Betreuung meiner Master Thesis auch das Lektorat für diese Diplomarbeit übernommen. Seine Ausdauer sowie kritischen – jedoch stets konstruktiven – Fragen haben wesentlich zur Steigerung der Qualität beigetragen.

Größten Dank auch an Herrn a.o.Univ.Prof. Dr.phil. Wolfgang Hofkirchner, der die Betreuung meiner Diplomarbeit übernommen hat, stets für mich hilfreich verfügbar war und mir die Freiheit gelassen hat, die Arbeit nach eigenen Vorstellungen zu entwickeln.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, durch die mein Studium überhaupt erst möglich wurde. Sie motivierten mich unermüdlich – trotz langjähriger Sistierung – zum Abschluss des Studiums. Ihnen ist daher diese Arbeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xii
1 Einführung	1
1.1 Pioniere und historische Flüge	1
1.2 Entwicklung der Zivilluftfahrt	4
1.3 Cockpit im Wandel	10
1.3.1 Bildschirmgeräte	13
1.4 Entwicklung der Avionik	14
1.5 Forschungsfrage und Methodik	16
1.6 Aufbau der Arbeit	17
2 Das Cockpit des Airbus A320	19
2.1 Übersicht	19
2.2 Overhead Panel	22
2.3 Systemüberwachung	23
2.3.1 Übersicht über den Systemaufbau	33
2.3.2 Prioritätsstufen der Warnungen/Hinweise	35
2.3.3 Wartung	36
2.4 Automatische Flugführung	36
2.4.1 Flight Management Guidance Computer (FMGC)	38
2.4.2 Multipurpose Control and Display Unit (MCDU)	40
2.4.3 Digitale Fluginstrumente	46
2.5 Fly-by-wire und Sidestick	52
2.6 Triebwerksüberwachung	55

2.7	Vergleiche mit anderen Verkehrsflugzeugen.....	57
2.7.1	Airbus A340	57
2.7.2	Airbus A380	60
2.7.3	Boeing 787 Dreamliner	64
3	Ausgewählte Zulassungsthemen.....	71
3.1	Testrichtlinien für Hardware (RTCA DO-160F).....	73
3.1.1	Temperatur- und Höhentest	73
3.1.2	Temperaturänderung	74
3.1.3	Erschütterungen.....	75
3.1.4	Widerstandsfähigkeit gegenüber Wasser	75
3.1.5	Elektromagnetische Interferenz (EMI)	76
3.2	Entwicklungsrichtlinien für Software (RTCA DO-178B).....	77
3.2.1	RTCA DO-178B im Überblick	78
4	Zwischenfälle, Unfälle und ihre Ursachen.....	82
4.1	Das erste Einsatzjahr.....	82
4.1.1	Fragliche Zuverlässigkeit	84
4.1.2	Ein launischer Höhenmesser	85
4.1.3	Aufzeichnen von Daten	86
4.1.4	Modifikationen.....	86
4.1.5	Industriegeheimnisse.....	87
4.1.6	Ungereimtheiten bei der Zulassung	88
4.2	Flugunfälle und ihre Ursachen	89
4.2.1	Habsheim (Frankreich), 26. Juni 1988	90
4.2.2	Bangalore (Indien), 14. Februar 1990	100
4.2.3	Sydney (Australien), 12. August 1991	107
4.2.4	Straßburg (Frankreich), 20. Jänner 1992	110
4.2.5	Warschau (Polen), 14. September 1993	115
4.2.6	Bilbao (Spanien), 7. Februar 2001	122
4.2.7	Frankfurt (Deutschland), 20. März 2001	128
4.2.8	London (Großbritannien), 22. Oktober 2005	131
4.2.9	Hamburg (Deutschland), 1. März 2008	134
4.3	Die Sicherheit des Airbus im internationalen Vergleich.....	137
5	Automation in modernen Verkehrsflugzeugen.....	142

5.1 Das Berufsbild des Verkehrspiloten	142
5.1.1 Tätigkeitsmerkmale	143
5.1.2 Ausübungs- und Aufstiegsformen	144
5.2 Ursachenfaktor Mensch	145
5.2.1 Visuelle Wahrnehmungstäuschungen	147
5.2.2 Die falsche Hypothese	147
5.2.3 Der Mensch als „Gewohnheitstier“	148
5.2.4 Motivation	149
5.2.5 Stress und belastende Umwelteinflüsse	150
5.2.6 Ermüdung	151
5.3 Probleme bei der Automation im Cockpit	151
5.3.1 Treibende Kräfte der Automatisierung	152
5.3.2 Allgemeine Problembereiche	153
5.3.3 Zielsetzungen für den Einsatz automatischer Systeme	155
5.3.4 Anthropotechnik	155
5.4 Grundsätzliches zum Thema Mensch-Maschine	157
5.5 Was bringt die Zukunft – 3, 2, 1?	159
6 Zusammenfassung	165
6.1 Die Technik des Airbus A320	166
6.2 Erhöhen Computer die Flugsicherheit?	167
6.3 Ersetzen Flugregler die Piloten?	168
6.4 Abschluss	170
7 Glossar	172
8 Literaturverzeichnis	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der erste Flug des Wright Flyer I am 17. Dezember 1903	2
Abbildung 2: Eine restaurierte Douglas DC-3.....	5
Abbildung 3: Ein Airbus A320-233 der ecuadorianischen Fluggesellschaft	8
Abbildung 4: Das Cockpit einer Boeing 747-100	13
Abbildung 5: Das Cockpit des Airbus A320	20
Abbildung 6: Übersicht über die Farbgebung der Drucktastenschalter.....	22
Abbildung 7: System Display DOOR/OXY und WHEEL	25
Abbildung 8: System Display BLEED und FUEL	26
Abbildung 9: Druckschalter für das Hydrauliksystem im Overhead Panel	27
Abbildung 10: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 1	28
Abbildung 11: Abarbeiten der Checkliste über das Overhead Panel	29
Abbildung 12: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 2	30
Abbildung 13: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 3	31
Abbildung 14: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 4	32
Abbildung 15: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 5	33
Abbildung 16: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 6	34
Abbildung 17: Flight Control Unit (FCU)	38
Abbildung 18: Multipurpose Control and Display Unit (MCDU).....	41
Abbildung 19: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 1 und 2)	42
Abbildung 20: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 3 und 4)	43
Abbildung 21: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 5 und 6)	44
Abbildung 22: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 7 und 8)	45
Abbildung 23: EFIS Control Panel	48
Abbildung 24: Navigation Display (ND)	49
Abbildung 25: Primary Flight Display (PFD)	50
Abbildung 26: Hydraulikmodul im Overhead Panel des Airbus A340.....	58
Abbildung 27: Engine/Warning- und System Display des Airbus A340.....	59
Abbildung 28: PFD und ND des Airbus A380.....	61
Abbildung 29: E/WVD und SD des Airbus A380.....	62
Abbildung 30: Multi Functional Display (MFD) des Airbus A380	63
Abbildung 31: Das Cockpit der Boeing 787	65
Abbildung 32: MFD mit Primary Flight Display der Boeing 787	66
Abbildung 33: MFD mit Navigation Display und Communications Menu.....	67
Abbildung 34: MFD mit Triebwerksparametern und Air Synoptic Display.....	69
Abbildung 35: Habsheim (Frankreich), 26. Juni 1988	91
Abbildung 36: Anpassung der Geschwindigkeitsskala im PFD.....	106
Abbildung 37: Übersichtskarte Flughafen Sydney/Kingsford Smith	108
Abbildung 38: Side Stick Priority Anzeige im Glareshield.....	109

Abbildung 39: Anzeige für einen „Dual Input“	110
Abbildung 40: Flight Control Unit (FCU) – Alte Version	113
Abbildung 41: Flight Control Unit (FCU) – Neue Version	114
Abbildung 42: Logik für das Ausfahren der Störklappen (gültig 1993)	119
Abbildung 43: Übersichtskarte Flughafen Warsaw/Okecie	120
Abbildung 44: Adaptierte Logik für das Ausfahren der Störklappen	121
Abbildung 45: Anzeige der High Angle of Attack Protection	126
Abbildung 46: Schutzmechanismen im Normalflug	127
Abbildung 47: ECAM F/CTL System Display	130
Abbildung 48: Engine/Warning- und Synoptic Display der Elektronik	133
Abbildung 49: Bodenberührung der linken Tragfläche des Airbus A320.....	135
Abbildung 50: Northrop Grumman RQ-4A Global Hawk.....	162

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: The Boeing Company – Bestellungen und Lieferungen.....	7
Tabelle 2: Airbus Industrie – Bestellungen und Lieferungen.....	9
Tabelle 3: Vorteile der Digitaltechnik – Automatische Flugführung	15
Tabelle 4: Software Levels nach RTCA DO-178B	78
Tabelle 5: Flugunfälle des Airbus A320 und seiner Nachfolgemodelle	90
Tabelle 6: Auszug aus dem Digital Flight Data Recorder.....	92
Tabelle 7: Auszug aus dem Digital Flight Data Recorder.....	118
Tabelle 8: α PROT und α MAX für zwei ausgewählte Konfigurationen	125
Tabelle 9: α FLOOR bei entsprechender Stellung der Landeklappen	125
Tabelle 10: Übersicht aller Airbus Unfälle mit Todesfolge	138
Tabelle 11: Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge (Airbus).....	140
Tabelle 12: Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge (International).....	141

Abkürzungsverzeichnis

A	Airbus, Ampere, at or above, Autoroute [Autobahn]
A. ICE	Anti Ice
A/THR	Auto Thrust
AAIB	Air Accidents Investigation Branch (Großbritannien)
ABET1C	SID ABETI One Charlie (ABETI 1C)
ABLO1C	SID ABLOM One Charlie (ABLOM 1C)
ABS	Antiblockiersystem
AC	Alternating Current
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ACCEL	Acceleration
ADF	Automatic Direction Finder
ADI	Attitude Director Indicator
AEROUNION	Aerotransporte de Carga Unión
AF	Air France (IATA Airline Designator)
AFS	Auto Flight System
AIB	Airbus Industrie (ICAO Airline Designator)
AIIB	Air Accidents Investigation Branch
AIL	Aileron
AIP	Aeronautical Information Publication
AIS	Aeronautical Information Service
ALT	Altitude, Altitude Hold Mode (AP/FD vertical mode)
ALT*	Altitude Capture (AP/FD vertical mode)
ALTN	Alternate
AOA	Angle of Attack
AOM	Airplane Operations Manual
AP	Auto Pilot
APP	Approach
APPR	Approach
APRT	Airport
APU	Auxiliary Power Unit
ARINC	Aeronautical Radio, Incorporated
ARP	Airport Reference Point
ATA	Air Transport Association
ATC	Air Traffic Control
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATPL	Airline Transport Pilot License
AUG	August
AUTO	Automatic

AUX	Auxiliary
AVAIL	Available
α	Angle of Attack
B	Blue, at or below
BAC	British Aircraft Corporation
BAe	British Aerospace
BARO	Barometric
BASI	Bureau of Air Safety Investigation (Australien)
BAT	Battery
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (Frankreich)
BFI	Seattle Boeing Field/King County International, Washington (IATA Airport Code)
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (Deutschland)
BKN	Broken
BRG	Bearing
BRK	Brake, Braking
BRT	Brightness
C	Celsius, Cold, Course
CAA	Civil Aviation Authority (Großbritannien)
CAB	Cabin
CAPT	Captain
Capt.	Captain
CAS	Computed Air Speed
CASA	Construcciones Aeronáuticas, S.A.
CAT	Category
CAUT	Caution
CB	Circuit Breaker, Cumulonimbus
CBT	Computer Based Training
CCM	Compagnie Aérienne Corse Méditerranée
CCQ	Cross Crew Qualification
CDB	Commandant de bord [Kapitän]
CF	(final approach) Course Fix
CFIT	Controlled Flight into Terrain
CIAIAC	Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (Spanien)
CIDS	Cabin Intercommunication Data System
CKPT	Cockpit
CL	Climb
CLB	Climb
CLR	Clear
CO RTE	Company Route
COND	Air Conditioning

Copi	Copilote [Kopilot]
CPNY	Company
CPU	Central Processing Unit
CRC	Chemical Rubber Company
CRT	Cathode Ray Tube
CRZ	Cruise
CSF	Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil
CSTR	Constraint
CTR	Center
CVR	Cockpit Voice Recorder
D	Germany (ICAO Aircraft Nationality Mark)
DC	Direct Current, Douglas Commercial
DES	Descend
DEST	Destination
DFDR	Digital Flight Data Recorder
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile (Frankreich)
DGCA	Director General of Civil Aviation (Indien)
DH	de Havilland
DIBAG	WPT (N45 47.4, E000 47.2)
DIR	Direct, Direction, Director
DIST	Distance
DITS	Digital Information Transfer System
DLH	Lufthansa (ICAO Airline Designator)
DMC	Display Management Computer
DME	Distance Measuring Equipment
DN	Down
DO	Design Objective
DOM	Domestic
DSP	Display Select Panel
E	East, Extended Range
E/O	Engine-Out
E/W/D	Engine/Warning Display
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EC	Spain (ICAO Aircraft Nationality Mark)
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring
ECP	ECAM Control Panel
ECU	Engine Control Unit
ED	EUROCAE Document
EDDF	Frankfurt/Main, Germany (ICAO Location Indicator)
EDDH	Hamburg, Germany (ICAO Location Indicator)
EDDM	Munich, Germany (ICAO Location Indicator)
EFIS	Electronic Flight Instrument System

EFOB	Estimated Fuel on Board
EG	Europäische Gemeinschaft
EGT	Exhaust Gas Temperature
EICAS	Engine Indication and Crew Alerting System
EIS	Electronic Instruments System
ELAC	Elevator Aileron Computer
ELEC	Electrical, Electric Power, Electrics
ELEV	Elevation, Elevator
ELT	Emergency Locator Transmitter
EMER	Emergency
EMI	Electromagnetic Interference
ENG	Engine
EO	Engine-Out
EOSID	Engine-Out SID
ER	Extended Range
ESS	Essential
EST	Eastern Standard Time
ET	Extended Twin
ETACS	External and Taxiing Camera System
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EXPED	Expedite
EXT	Extension, External
F	Fahrenheit, Flap Position, Flap Retraction Speed, Fokker, France (ICAO Aircraft Nationality Mark), Freighter, Minimum Flap Retraction Speed
F.	Fuel
F.F	Fuel Flow
F/CTL	Flight Controls
F/O	First Officer
FAA	Federal Aviation Administration (USA)
FAC	Flight Augmentation Computer
FADEC	Full Authority Digital Engine Control
FAM	Family
FAR	Federal Aviation Regulations
FAST	Flight Airworthiness Support Technology
FCC	Flight Control Computer
FCOM	Flight Crew Operating Manual
FCPC	Flight Control Primary Computer
FCSC	Flight Control Secondary Computer
FCTL	Flight Control
FCU	Flight Control Unit

FD	Flight Director
FDR	Flight Data Recorder
FEB	February
FF	Fuel Flow
FFCC	Forward Facing Crew Concept
FG	Flight Guidance
FGS	Flight Guidance System
FIST5B	SID FISTO Five Bravo (FISTO 5B)
FISTO	WPT (N44 27.7, E001 13.6)
FL	Flight Level
FLE	Full Loss Equivalent
FLEX	Flexible
FLT	Flight
FLX	Flexible
FM	Flight Management
FMA	Flight Mode Annunciator
FMC	Flight Management Computer
FMGC	Flight Management Guidance Computer
FMGS	Flight Management and Guidance System
FMS	Flight Management System
FOB	Fuel On Board
FPA	Flight Path Angle
F-PLN	Flight Plan
FRA	Frankfurt/Main, Germany (IATA Airport Code)
FT	Foot, Feet
FWC	Flight Warning Computer
FWD	Forward
G	Green, Gust, United Kingdom (ICAO Aircraft Nationality Mark)
g	Standard gravity
G.P.	Glidepath
G/S	Glide Slope
GA	Go-Around
GEN	General, Generator
GMT	Greenwich Mean Time
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
GPWS	Ground Proximity Warning System
GRVTY	Gravity
GS	Ground Speed
GW	Gross Weight
GWCG	Gross Weight and Center of Gravity
H	Heading, Hot, Hour

HDG	Heading
HELI	Helicopter
HI	High
HP	High Pressure
hPa	Hectopascal
HS	Hawker Siddeley, Thailand (ICAO Aircraft Nationality Mark)
HUD	Head Up Display
HYD	Hydraulic
HZ	Hertz
IAE	International Aero Engines
IATA	International Air Transport Association
IB	Iberia (IATA Airline Code)
IBFI	Seattle Boeing Field/King County International, Washington (ILS DME Identifier)
IC	Indian Airlines (IATA Airline Code)
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDG	Integrated Drive Generator
IFATS	Innovative Future Air Transport System
IHNW	Hannover, Germany (ILS Identifier)
ILS	Instrument Landing System
in Hg	Inches of Mercury (Hydrargyrum)
IN	Inches
INIT	Initialization
INOP SYS	Inoperative System(s)
INS	Inertial Navigation System
Intel	Integrated Electronics Corporation
INTL	International
IP	Intermediate Pressure
IRS	Inertial Reference System
ISS	International Space Station
ITF	Air Inter (ICAO Airline Designator)
JAA	Joint Aviation Authorities
JAR	Joint Aviation Requirements
Ju	Junkers
JUL	July
KBFI	Seattle Boeing Field/King County International, Washington (ICAO Location Indicator)
KBit	Kilobit
KCCU	Keyboard and Cursor Control Unit
KG	Kilogramm
KT	Knot(s)
L	Left, Lockheed

L/G	Landing Gear
L1	Left Engine Generator #1
L2	Left Engine Generator #2
LAT REV	Lateral Revision
LAT	Lateral, Latitude
LBA	Luftfahrtbundesamt (Deutschland)
LBS	Pounds
LCD	Liquid Crystal Display
LDG ELEV	Landing Elevation
LDG	Landing
LFBO	Toulouse/Blagnac, France (ICAO Location Indicator)
LFPO	Paris/Orly, France (ICAO Location Indicator)
LH	Lufthansa (IATA Airline Code)
LIM	Limit, Limitations
LNAV	Lateral Navigation
LNZ	Linz, Austria (IATA Airport Code), Linz, Austria VOR DME (N48 13.8, EO14 06.2)
LO	Low
LOC	Localizer
LONG	Longitude
LOW294	LOWW Runway 29 Bearing 294
LOWG	Graz, Austria (ICAO Location Indicator)
LOWK	Klagenfurt, Austria (ICAO Location Indicator)
LOWL	Linz, Austria (ICAO Location Indicator)
LOWS	Salzburg, Austria (ICAO Location Indicator)
LOWW	Wien/Schwechat, Austria (ICAO Location Indicator)
LOWW29	LOWW Runway 29
LTA	Lufttüchtigkeitsanweisung
LUGI2C	SID LUGIN Two Charlie (LUGIN 2C)
LVL	Level
LVL/CH	Level Change
LVR CLB	Thrust Levers Climb
M	Meter
MAG	Magnetic
MAINT	Maintenance
MAN	Manual
MAX	Maximum
MByte	Megabyte
MCDU	Multipurpose Control and Display Unit
MD	McDonnell Douglas
MDA	Minimum Descent Altitude
MEDI2C	SID MEDIX Two Charlie (MEDIX 2C)

MET	Meteorological
METAR	Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (Aviation Routine Weather Report)
MFD	Multi Functional Display (Airbus), Multifunction Display (Boeing)
MIC	Microphone
MIN	Minute
MLG	Main Landing Gear
MMO	Maximum Operating Mach
MOI	Modification Operational Impact
MSG	Message
MTOW	Maximum Take-Off Weight
N	North, United States (ICAO Aircraft Nationality Mark)
N.W. STEER	Nose Wheel Steering
N1	Low Pressure Rotor Speed
N2	High Pressure Rotor Speed, Intermediate Pressure Rotor Speed (Rolls-Royce Engines)
N3	High Pressure Rotor Speed (Rolls-Royce Engines)
NAC	Nacelle
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAV	Navigation
NBR	Number
ND	Navigation Display, Nose Down
NDB	Non Directional Beacon
NM	Nautical Mile
No.	Number
NORM	Normal
NOSIG	No Significant Change
NOTAM	Notice to Airmen
NU	Nose Up
NYP	New York to Paris
OANS	Onboard Aircraft Navigation System
OEB	Operations Engineering Bulletin
OEN	Wien/Schwechat, Austria (ILS DME Identifier)
OEW	Wien/Schwechat, Austria (ILS DME Identifier)
OEX	Wien/Schwechat, Austria (ILS DME Identifier)
OEZ	Wien/Schwechat, Austria (ILS DME Identifier)
OIS	Onboard Information System
OM	Outer Marker
OPS	Operations
OPT	Optimum
OVFY	Overfly
OXY	Oxygen

P	Page, Pressure, Proposal
PERF	Performance
PFD	Primary Flight Display
PIA	Pakistan International Airlines
PIC	Pilot in Command
PJS	Jet Aviation (ICAO Airline Designator)
POS	Position
PR	Pressure
PRED	Prediction
PRESS	Pressure, Pressurization
PROC	Procedure
PROG	Progress
PROT	Protection
PSI	Pounds per Square Inch
PTU	Power Transfer Unit
PWR	Power
Q	QNH
QAR	Quick Access Recorder
QFE	Field Elevation Atmosphere Pressure
QNH	Sea Level Atmosphere Pressure
QT	Quantity
QTY	Quantity
R	Extended Range, Right
R1	Right Engine Generator #1
R2	Right Engine Generator #2
RA	Radio Altimeter, Rain
RAD	Radio
RAT	Ram Air Turbine
REC	Recommended
RECIRC	Recirculation
RED	Reduction
REL	Release
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RLD	Rijksluchtvaartdienst (Niederlande)
RSVR	Reservoir
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RTE	Route
RTO	Rejected Take-Off
RUD	Rudder
RWY	Runway
S	Second, Slat Position, Slat Retraction Speed, South
S7	Sibir Airlines (IATA Airline Code)

SAT	Static Air Temperature
SD	System Display
SDAC	System Data Acquisition Concentrator
SE	Sud-Est
SEC	Secondary, Spoiler Elevator Computer
SECAL	Selective Calling System
SEL	Select
SEP	September
SFENA	Société Française d'Équipements pour la Navigation Aérienne
SH	Shower(s)
SID	Standard Instrument Departure
SIDS	Standard Instrument Departures
SIMOPS	Simultaneous Runway Operations
SNPL	Syndicat National des Pilotes de Ligne
SPD	Speed
SPDLIM	Speed Limit
SPLR	Spoiler
SPLRs	Spoilers
SRS	Speed Reference System
STAR	Standard Instrument Arrival
STAT	Status
STBY	Standby
STD	Standard
STO	Stockerau, Austria VOR DME (N48 25.0, E016 01.1)
STS	Status
SWTG	Switching
SYS	System
T	Tonnen, Tons
T.O	Take-Off
T/C	Top of Climb
T/D	Top of Descent
TA	Traffic Advisory
TACA	Transportes Aéreos del Continente Americano
TAM	Táxi Aéreo Marília
TAROM	Transporturile Aeriene ROMâne
TAS	True Air Speed
TAT	Total Air Temperature
TEMP	Temperature
TEMPO	Temporary
TERR	Terrain
TFC	Traffic
TGV	Train à Grande Vitesse

THR	Thrust
THS	Trimmable Horizontal Stabilizer
TO G	Take-Off/Go-Around
TO/GA	Take-Off/Go-Around
TO1	Derate One Take-Off Thrust
TOGA	Take-Off/Go-Around
TOU	Toulouse, France VOR DME (N43 40.8, E001 18.6)
TPR	Turbofan Power Ratio
TR	Transformer Rectifier
TRANS	Transition
TRK	Track
TROPO	Tropopause
TUDRA	WPT (N46 32.3, E000 46.8)
TWIP	Terminal Weather Information for Pilots
TWR	Tower (Aerodrome Control)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
UKW	Ultrakurzwelle
UPS	United Parcel Service
USB	Universal Serial Bus
UT210	High Altitude Airway (France)
UTC	Universal Time Coordinated
V	Volt
V/S	Vertical Speed
V1	Take-Off Decision Speed
V2	Take-Off Safety Speed
VASI	Visual Approach Slope Indicator
VENT	Ventilation
VH	Australia (ICAO Aircraft Nationality Mark)
VHF	Very High Frequency
VIB	Vibration
VIE	Wien/Schwechat, Austria (IATA Airport Code)
V _{LS}	Lowest Selectable Speed
VMO	Maximum Operating Speed
VNAV	Vertical Navigation
VOBG	Bangalore, India (ICAO Location Indicator)
VOR	VHF Omnidirectional Range
VOR.D	VOR-DME
VR	Rotation Speed
VSD	Vertical Situation Display
VT	India (ICAO Aircraft Nationality Mark)
W	West

WARN	Warning
WPT	Waypoint
WT	Weight
XL	Excel
XPDR	Transponder
Y	Yellow
Z	Zulu

1 Einführung

Schon seit Anbeginn der Menschheit war der Traum vom Fliegen vorhanden. Der Mensch beobachtete die Vögel beim Flug und hätte es ihnen gerne gleich getan, aber bis zum 20. Jahrhundert blieben alle Versuche, diesen Traum in die Tat umzusetzen, erfolglos. Immer wieder gab es Wagemutige, die den Vögeln nachzueifern wollten, sich künstliche Flügel an die Arme banden und von Steilküsten oder Türmen sprangen. Die meisten Versuche endeten jedoch tödlich, da vor allem die Armmuskeln des Menschen viel zu schwach sind. Dennoch half das Studium des Vogelfluges: Die Art und Weise, wie Vögel die Haltung ihrer Flügel und den Winkel ihres Schwanzes ändern, wies schlussendlich den Weg zum gesteuerten Flug.

Im Jahre 1783 erhoben sich in Frankreich zum ersten Mal Menschen in die Luft und benutzten dazu mit Warmluft gefüllte Ballons die von den Brüdern Joseph und Étienne Montgolfier entwickelt wurden. Die Geschichte des Motorfluges begann aber erst rund 30 Jahre später, Anfang des 19. Jahrhunderts. Der Engländer Sir George Cayley entwickelte eine Flugtheorie, in der er als erster alle bisherigen Erkenntnisse des Fluges zusammenfasste. Die Tatsache, dass eine richtig konstruierte Tragfläche einen Menschen in die Luft heben konnte, wurde schließlich vom Deutschen Otto Lilienthal bewiesen. Er baute mehrere Gleiter und unternahm zwischen 1891 und seinem Absturz am 9. August 1896 über 2.000 Gleitflüge.¹

Anfang des 20. Jahrhunderts ebnete schließlich die Erfindung des Benzinmotors den Weg für den gesteuerten Flug. Am 17. Dezember 1903 gelang Orville und Wilbur Wright der erste durch eine Maschine angetriebene Flug in Kitty Hawk, North Carolina (USA). Vor den Augen von fünf Zeugen flog das von einem 12-PS-Motor angetriebene Flugzeug Flyer I 37 Meter weit (siehe Abbildung 1). Der Traum vom Fliegen wurde Wirklichkeit.²

1.1 Pioniere und historische Flüge

Nach ihrem historischen Flug bauten Orville und Wilbur Wright noch zwei weitere Flugzeuge. Der Flyer III war das erste vollsteuerbare Flugzeug: Es konnte eine

¹ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1984a): Pionierzeit der Fliegerei – Vom Vogelflug zur Fliegekunst. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 3, Heft 37. S. 1014-1020.

² Vgl. Williams, Brian (1974), S. 6-11.

Acht fliegen und schaffte schließlich am 5. Oktober 1905 einen 39 Minuten und 23 Sekunden dauernden Flug über eine Strecke von 38,9 Kilometer.³

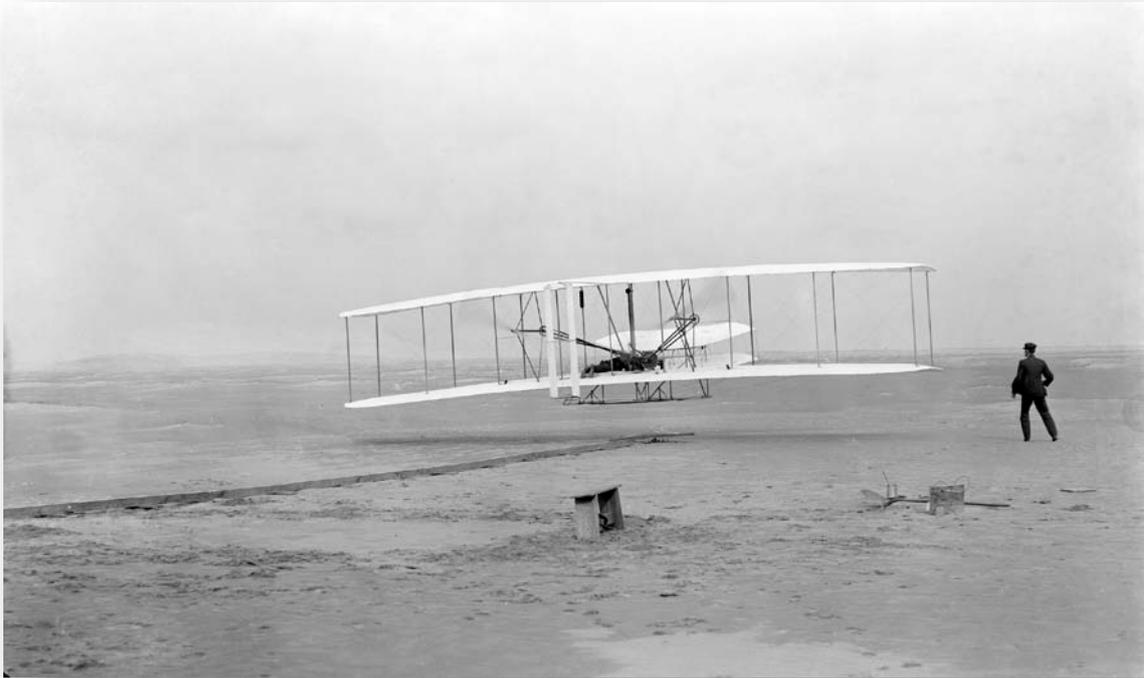


Abbildung 1: Der erste Flug des Wright Flyer I am 17. Dezember 1903 mit Orville Wright am Steuer und Wilbur Wright neben dem Flugzeug. (Quelle: John T. Daniels, Library of Congress)

Frankreich war zur damaligen Zeit das Zentrum der Aeronautik in Europa. 1907 baute und flog Louis Blériot einen Eindecker, der dem Flugzeugbau den Weg in die Zukunft weisen sollte. Am 25. Juli 1909 überflog er den Ärmelkanal und im August des gleichen Jahres fand in Reims das erste Luftfahrttreffen der Welt statt. Mehr als 20 der bekanntesten Piloten in 30 Maschinen nahmen daran teil. Der einzige amerikanische Teilnehmer, Glenn Curtiss, stellte in seinem Golden Flyer mit 74,8 km/h den Geschwindigkeitsrekord auf. 250.000 Zuschauer kamen nach Reims und bezeugten das große Interesse, das die Fliegerei gefunden hatte.⁴

Glenn Curtiss flog 1911 das erste Wasserflugzeug und zwei Jahre später baute Igor Sikorsky in Russland die ersten viermotorigen Flugzeuge. Schon bald wurde

³ Vgl. Bechtermünz Verlag (Hrsg.) (1997), S. 914.

⁴ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1984b): Die Frühgeschichte des Motorflugs – Flugtage und Rennen. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 3, Heft 45. S. 1239-1244.

Post per Luft befördert und ein paar mutige Passagiere wagten sich ebenfalls an Bord.⁵

Seit den frühesten Tagen der Fliegerei wurden Geldpreise für rekordbrechende Flüge ausgeschrieben. So hatte die London Daily Mail 1.000 Pfund Sterling für den ersten Flug über den Ärmelkanal geboten, die 1909 von Louis Blériot gewonnen wurden. Dieselbe Zeitung versprach 10.000 Pfund Sterling für die erste Überquerung des Atlantiks. Im Mai 1919 gelang einem Flugboot der amerikanischen Marine der Flug von den Vereinigten Staaten nach England, jedoch mit Zwischenlandungen in Neufundland, auf den Azoren und in Portugal. Die Ersten, die den Atlantik im Nonstopflug überquerten und somit den Daily Mail Preis gewannen, waren die Engländer Captain John Alcock und Lieutenant Arthur Whitten Brown. In einem zweimotorigen Doppeldecker flogen die Beiden im Juni 1919 über eine Distanz von 3.186 Kilometer von St. John's, Neufundland nach Clifden, Irland. Ihr Flug dauerte 16 Stunden und 12 Minuten. Weitere rekordbrechende Flüge folgten und erregten das Interesse der Öffentlichkeit. Kühne Piloten und ihre Flugzeuge wurden berühmt und ihre Flüge wurden mit großer Spannung verfolgt.

Mehrere Versuche wurden unternommen, um einen Preis in der Höhe von 25.000 US Dollar zu gewinnen, den der New Yorker Raymond Orteig am 19. Mai 1919 für einen Nonstopflug von New York nach Paris ausgesetzt hatte. Die Prämie wurde erst 1927, von dem damals noch relativ unbekanntem Postflieger Charles Lindbergh, gewonnen. Sein Flug war eine der größten Einmann-Leistungen in der Geschichte der Luftfahrt. In seinem bei Ryan gebauten Spezial-Eindecker Ryan NYP⁶ „Spirit of St. Louis“ flog Lindbergh am 20. Mai 1927 ostwärts. Er hatte weder Funk, Sextant noch einen Fallschirm an Bord und hatte sogar wichtiges Kartenmaterial weggeworfen, um Gewicht zu sparen. Zwischen Pilot und Motor war ein großer Treibstofftank untergebracht, nach vorne konnte Lindbergh daher nur durch ein Periskop sehen. Er erreichte schließlich den Flughafen Le Bourget bei Paris am 21. Mai 1927 um 22:22 Uhr nach einem Flug über 5.778 Kilometer der 33 Stunden und 39 Minuten dauerte.⁷

Die erste Weltumrundung in einem Flugzeug fand 1924 statt. Sie wurde von vier amerikanischen Douglas Doppeldeckern ausgeführt von denen aber nur zwei die Reise nach 172 Tagen vollendeten. Ein Vergleich mit späteren Weltumrundungen zeigt, wie sehr sich die Leistung der Flugzeuge in den 1920er und 1930er Jahren verbesserte: 1931 flogen Wiley Post und Harold Gatty in einem Ein-

⁵ Vgl. Williams, Brian (1974), S. 12-13.

⁶ New York to Paris

⁷ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1986): Chronologie der Luftfahrt. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 133. S. 3704.

decker von Lockheed in acht Tagen und 16 Stunden um die Welt. Zwei Jahre später schaffte Post den Rundflug im selben Flugzeug in 7 Tagen und 19 Stunden. 1938 konnte Howard Hughes die Welt in einer zweimotorigen Lockheed Super Electra bereits in weniger als vier Tagen (3 Tage, 19 Stunden) umrunden. Aber zu dieser Zeit ermöglichte die Technik schon schnellere und leistungsstärkere Flugzeuge. Die Tage der historischen Flüge und das Pionierzeitalter näherten sich ihrem Ende.⁸

1.2 Entwicklung der Zivilluftfahrt

Am 8. Februar 1933 fand der Erstflug der Boeing 247, die allgemein als erstes modernes Verkehrsflugzeug angesehen wird, statt. Sie bot in der Kabine zehn Passagieren und einer Flugbegleiterin – damals noch „Sky Girl“ genannt – Platz. Es wurde bereits metallische Schalenbauweise verwendet und eine Reihe von Neuerungen kam zum Ersteinsatz, wie z.B. Motorhaubenverkleidung, verstellbare Luftschauben und pulsierende Enteisungswülste aus Gummi entlang der Vorderkanten von Tragflächen und Leitwerk. Bei einem Stückpreis von 50.000 US Dollar erhielt Boeing einen gewaltigen Auftrag über 60 Flugzeuge von einer neuen Fluggesellschaft, United Air Lines. Dieser Auftrag führte zu entsprechenden Reaktionen bei den anderen Flugzeugherstellern und innerhalb von nur zwei Jahren baute die amerikanische Luftfahrtindustrie ihre führende Position und folglich ihre Weltmarktdominanz aus.⁹

Der größte und ernsthafteste Rivale von Boeing war die Douglas Aircraft Company, die von Trans World Airlines aufgefordert wurde, ein neues dreimotoriges Metallflugzeug zu liefern. Doch stattdessen wurde bei Douglas entschieden ein zweimotoriges Flugzeug, das die Merkmale der Boeing 247 besaß, zu entwickeln. Die DC-1 (Douglas Commercial) machte ihren Erstflug am 1. Juli 1933, hatte eine bessere Motorhaubenverkleidung, Landeklappen und eine geräumige Kabine für 12 Personen sowie eine günstigere aerodynamische Form. Von diesem einzigen Muster der DC-1 stammte die etwas größere DC-2 mit 14 Sitzen ab.

Die DC-2 war in ihrer Klasse ohne Konkurrenz. Trotz der relativ hohen Geschwindigkeit von 275 km/h waren ihre Betriebskosten nicht zu unterbieten. Als 1935 die Produktion der ähnlichen, aber größeren DC-3 begann, konnte schließlich mit dem planmäßigen Luftverkehr begonnen werden.¹⁰

⁸ Vgl. Williams, Brian (1974), S. 16-17.

⁹ Vgl. Seidel, J. (Hrsg.) (1991): Boeing 247 – Pionier der modernen Luftfahrt. In: *Aeroplane – Take-Off in die Welt des Fliegens*. Band 10, Heft 117. S. 3260-3265.

¹⁰ Vgl. Grant, R. G. (2008), S. 146-149.

Die DC-3 hatte einen breiteren, besser geformten Rumpf, in dem 21 Passagiere Platz fanden. Die verbesserten Motoren erhöhten die Geschwindigkeit trotz des Gewichtsanstiegs zusätzlich. Das Flugzeug hat Flügel von großer Spannweite, die dank der Mehrholm Bauweise auch nicht zu Ermüdungsbrüchen neigten. 1936 wurde die DC-3 zum Standardverkehrsflugzeug im Weltluftverkehr, so auch in Russland und Japan. Einschließlich der in diesen Ländern in Lizenz hergestellten Flugzeuge und den großen Transporterflotten, die im 2. Weltkrieg gebaut wurden, belief sich die Gesamtserie auf 16.079 Maschinen, mehrere mal so viel wie von jedem anderen Verkehrsflugzeug in der Geschichte der Luftfahrt. Nicht unerwähnt soll bleiben, dass einige hundert Exemplare der DC-3 auch heute noch regulären Dienst als Passagier- oder Frachtflugzeug versehen.¹¹



Abbildung 2: Eine restaurierte Douglas DC-3. (Quelle: Ricardo Aysa Calahorra, <http://www.airliners.net>)

Im Jänner 1943 wurde bei Lockheed ein auffällig modernes Verkehrsflugzeug fertiggestellt, die Constellation. Während der folgenden 15 Jahre wurden 856 Maschinen in den verschiedensten Varianten hergestellt.

Boeing hatte 1938 die Druckkabine mit dem viermotorigen Stratoliner 307 eingeführt. Dabei wird Frischluft in die Kabine gepumpt, um dort den Luftdruck in allen Flughöhen ähnlich dem in Meereshöhe zu halten. Die ersten Druckbelüf-

¹¹ Vgl. Gradidge, Jeniffer M. (2006), S. 7-20.

tungssysteme arbeiteten mit Differenzdrücken (Druckdifferenz zwischen innen und außen) von etwa 0,14 kg/cm². Die Nachkriegsgeneration, wie z.B. die DC-6 oder die Constellation, besaßen einen mehr als doppelt so hohen Differenzdruck und heutige Flugzeuge verfügen über den vierfachen.

Während des zweiten Weltkrieges wurde in England das Gasturbinentriebwerk entwickelt und die Brabazon-Kommission (unter Leitung von Lord Brabazon of Tara) legte fest, welche Arten von Verkehrsflugzeugen nach dem gewonnenen Krieg in Großbritannien gebaut werden sollten. Zwei Vorschläge erwiesen sich als äußerst bedeutungsvoll: Die Brabazon-III-Spezifikation für ein Kurzstrecken-Propellerturbinenflugzeug ermöglichte die Vickers Viscount, die am 16. Juli 1948 zum Erstflug startete. 1950 flog der Prototyp mit 32 Fluggästen auf den Strecken London-Paris und London-Edinburgh. Niemals zuvor waren Fluggäste so schnell und komfortabel geflogen.

Das andere Flugzeug war die de Havilland Comet (Brabazon-IV-Spezifikation), das erste Passagierflugzeug mit Strahltriebwerken. Sie konnte 36 Passagiere über eine Entfernung von 2.415 km mit einer Geschwindigkeit von 725 km/h transportieren. Der Erstflug der Comet 1 erfolgte am 27. Juli 1949. Sie halbierte die Flugzeiten und bot den Fluggästen ein Maß an Geschwindigkeit, Komfort und Luxus, wie es früher unbekannt war. Der Differenzdruck betrug 0,58 kg/cm² und ermöglichte der Comet einen fast geräuschlosen Flug in 12.000 Meter Höhe, aus der die Passagiere große Entfernungen überblicken konnten. Unglücklicherweise hatte der große Differenzdruck auch seine Schattenseiten: Das aufeinanderfolgende Aufblasen und Druckablassen der dünnwandigen Außenhaut führte zum Entstehen und der Ausbreitung von Ermüdungsrissen, die 1954 zum Auseinanderbrechen von zwei Maschinen während des Fluges führten.^{12, 13}

Am 15. Juli 1954 war der Erstflug der Boeing 367-80. Es war dies ein von der Firma mit Eigenmitteln entwickelter Jet, der sich durch gepfeilte Tragflächen sowie eine eindrucksvolle Kombination aus Geschwindigkeit und Reichweite auszeichnete. Aufgrund des Erfolgs als militärische Tanker entwickelte Boeing eine vergrößerte zivile Variante: Die Boeing 707. Schon bald wurde die noch größere Boeing 707-320 Intercontinental gebaut. Die Leistungen und Wirtschaftlichkeit der ursprünglich lauten, rauchenden und ziemlich unwirtschaftlichen Strahltriebwerke, konnte später durch moderne Triebwerke höherer Leistung gesteigert werden.¹⁴

¹² Vgl. Spröte, Ingrid (Hrsg.) (1989a): Die Comet-Story Teil 1: Mit Düsenantrieb in eine neue Ära. In: *Aeroplane – Take Off in die Welt des Fliegens*. Band 2, Heft 20. S. 548-553.

¹³ Vgl. Spröte, Ingrid (Hrsg.) (1989b): Die Comet-Story Teil 2: Ende eines Traums. In: *Aeroplane – Take Off in die Welt des Fliegens*. Band 2, Heft 21. S. 574-579.

¹⁴ Vgl. Marshall Cavendish Limited (Hrsg.) (1986), S. 25-33.

Die größten Produktionszahlen wurden in den 60ern des 20. Jahrhunderts mit der Boeing 727 erzielt, die ein Jahr nach der fast identischen britischen Trident auf den Markt kam. Beide Flugzeuge besitzen drei Triebwerke, die am Heck angebracht sind und stark gepfeilte Tragflächen. Zu den bis heute meistverkauften Kurzstreckenflugzeugen gehören des Weiteren die McDonnell Douglas DC-9 und die Boeing 737, die sich im Laufe der Jahre zu einem Verkaufsschlager entwickelte (siehe Tabelle 1).

Flugzeugtyp (Erstflug)	Bestellungen	Lieferungen
Gesamtsumme	20.775	17.374
Boeing 707/720 (20.12.1957) ↓	1.010	1.010
Boeing 717 (02.09.1998) ↓	155	155
Boeing 727 (06.02.1963) ↓	1.831	1.831
Boeing 737 (09.04.1967) ↓	3.132	3.132
Boeing 737 Next Generation (09.02.1997)	5.538	3.411
Boeing 747 (09.02.1969)	1.527	1.418
Boeing 757 (19.02.1982) ↓	1.049	1.049
Boeing 767 (26.09.1981)	1.044	991
Boeing 777 (12.06.1994)	1.157	892
Boeing 787 (15.12.2009)	847	-
McDonnell Douglas DC-8 (30.05.1958) ↓	556	556
McDonnell Douglas DC-9 (25.02.1965) ↓	976	976
McDonnell Douglas DC-10 (19.08.1970) ↓	446	446
McDonnell Douglas MD-11 (10.01.1990) ↓	200	200
McDonnell Douglas MD-80 (25.10.1979) ↓	1.191	1.191
McDonnell Douglas MD-90 (22.02.1993) ↓	116	116

Tabelle 1: The Boeing Company – Bestellungen und Lieferungen. (Quelle: The Boeing Company, Stand: 30. September 2010, ↓ Produktion eingestellt)

Die wichtigsten Neuentwicklungen in den 1960er und 1970er Jahren waren Überschallflug und Widebody Flugzeuge. Überschallverkehrsflugzeuge wurden zwar bereits Ende der 1950er Jahre diskutiert, der Startschuss für ein gemeinsames britisch-französisches Programm erfolgte aber erst 1962. Die sich daraus ergebende Concorde durfte nur eine sehr kleine Stirnfläche bieten und erzwang ein Flugzeug mit einem schmalen, langen Rumpf, kleinen Fenstern und einem schlanken Deltaflügel. Der Antrieb erfolgte durch vier kleine, aber sehr leistungsfähige Strahltriebwerke mit Nachbrenner. Die Concorde besaß zudem noch eine nach unten klappbare Rumpfnase, damit die Piloten bei Start und Lan-

dung mit dem, für dieses Flugzeug typischen, sehr hohen Anstellwinkeln überhaupt die Möglichkeit hatten, die Start-/Landebahn zu sehen.¹⁵



Abbildung 3: Ein Airbus A320-233 der ecuadorianischen Fluggesellschaft Tame. (Quelle: Alexander Zdravkowsch)

Während sich McDonnell Douglas (Nachfolger der Douglas Aircraft Company) darauf beschränkte die bestehende DC-8 durch das Einsetzen von Rumpfsektionen zu verlängern, entschloss sich Boeing für einen Neubeginn und entwickelte ein Linienflugzeug, das alle bisherigen Maschinen an Größe übertreffen sollte. Die Entscheidung zum Bau der Boeing 747 wurde 1966 gefällt und wurde erst durch die Entwicklung ursprünglich militärischer Fanturbinen, die einen höheren Schub bei wesentlich verminderten Lärm und geringerem Kraftstoffverbrauch lieferten, möglich. Der Jumbo Jet genannte Großraumflieger basiert im Wesentlichen auf der Boeing 707 mit vier Strahltriebwerken und einem auf 6,40 Meter verbreiterten Rumpfdurchmesser. In der Kabine finden bis zu 524 Fluggäste Platz (Boeing 747-400, Erstflug am 20. April 1988), aber auch 140 Tonnen Fracht (Boeing 747-8F, Erstflug am 10. Februar 2010) können durch den in der Frachtversion hochklappbaren Bug oder die Seitenporten geladen werden.¹⁶ Die

¹⁵ Vgl. Grant, R. G. (2008), S. 390-393.

¹⁶ Vgl. Grant, R. G. (2008), S. 394-396.

Boeing 747SP war kürzer und konnte die längsten Flugstrecken der Welt ohne Zwischenlandung zurücklegen, wie zum Beispiel London-Johannesburg, New York-Tokio oder San Francisco-Sydney.¹⁷

1968 begann McDonnell Douglas mit der Produktion der dreistrahligen DC-10 und Lockheed mit der L-1011 TriStar. Beide Flugzeuge sind etwas kleiner als die Boeing 747 und haben zwei Triebwerke unter den Tragflächen und eines in der Heckflosse bzw. im Rumpfheck.

Flugzeugtyp (Erstflug)	Bestellungen	Lieferungen	in Betrieb
Gesamtsumme	9.814	6.378	6.074
Airbus A300 (28.10.1972) ↓	561	561	390
Airbus A310 (03.04.1982) ↓	255	255	208
Airbus A318 (15.01.2002)	83	73	72
Airbus A319 (25.08.1995)	1.521	1.266	1.265
Airbus A320 (22.02.1987)	4.275	2.469	2.397
Airbus A321 (12.12.1996)	834	617	615
Airbus A330 (02.11.1992)	1.113	726	721
Airbus A340 (25.10.1991)	380	374	369
Airbus A350 (geplant 2012)	558	-	-
Airbus A380 (27.04.2005)	234	37	37

Tabelle 2: Airbus Industrie – Bestellungen und Lieferungen. (Quelle: Airbus Industrie, Stand: 30. September 2010, ↓ Produktion eingestellt)

Um der Marktbeherrschung durch amerikanische Unternehmen nicht weiter ausgeliefert zu sein, wurde auf Initiative der größten westeuropäischen Staaten die Airbus Industrie als Konsortium 1970 gegründet. Den Beginn dieser neuen Ära stellte der Airbus A300B dar, ein zweistrahliger Kurz- bis Mittelstreckenflugzeug derselben Größenordnung. Obwohl dieser einen technisch überlegenen Tragflügel besitzt, haben sich infolge der Marktnähe die von amerikanischen Firmen hergestellten dreistrahligen Flugzeuge besser verkauft. Anfang 1978 erlebte Airbus jedoch den Marktdurchbruch, nachdem die Verkäufe in den ersten Jahren nur schleppend vorangegangen waren (vgl. Tabelle 2).¹⁸

Die 1970er Jahre waren geprägt von der Erdölkrise und Neuentwicklungen waren rar. Es galt vielmehr durch Entwicklung bzw. Einbau neuer Triebwerke und durch Konstruktionsoptimierungen, Detailverbesserungen den Energieverbrauch

¹⁷ Vgl. Marshall Cavendish Limited (Hrsg.) (1986), S. 48-56.

¹⁸ Vgl. Morgenstern, Karl; Dietmar Plath (2005), S 6-23.

sowie die direkten Betriebskosten für bestehende Flugzeuge zu senken. In den 1980er Jahren ersetzte Boeing mit dem Doppelprogramm 757/767 die 707/727 und Airbus brachte mit dem Airbus A310 ein effizientes Langstreckenflugzeug auf den Markt.

Wachstum zeigte sich vor allem im Segment der Mittelstrecken-Flugzeuge. Immer mehr Reisende wollten auch auf mittleren Strecken lieber geflogen als gefahren werden. Airbus erweiterte sein Produktangebot mit dem Airbus A320 daher genau zum richtigen Zeitpunkt. Während Boeing in den 1990er Jahren nur ein neues Verkehrsflugzeug auf den Markt brachte, konnte Airbus mit dem Doppelprogramm Airbus A330/A340 sukzessive Marktanteile erobern und so die Dominanz der amerikanischen Flugzeughersteller durchbrechen.

Seit der Übernahme von McDonnell Douglas durch Boeing am 1. August 1997 stehen sich nun lediglich zwei Big Player gegenüber. Airbus konnte innerhalb kürzester Zeit zu Boeing aufschließen und hat heute mit dem Airbus A380 nicht nur das größte, sondern mit dem Airbus A340-500 das Verkehrsflugzeug mit der größten Reichweite (17.000 Kilometer) sowie mit dem Airbus A340-600 das längste zivile Flugzeug (75,3 Meter) im Programm.¹⁹

1.3 Cockpit im Wandel

Seit Anbeginn der Fliegerei war das Cockpit eines Flugzeuges als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine ein entscheidendes Element der konstruktiven Auslegung. Schon nach wenigen Jahren des Experimentierens kristallisierte sich das heute noch gültige Steuerungskonzept heraus: Durch Ziehen und Drücken der Steuersäule (oder des Sidesticks) wird das Höhenruder betätigt, seitliches Bewegen wirkt auf die Querruder und Pedale sind mit dem Seitenruder verbunden.²⁰

Die Instrumentierung war bis Mitte der 1920er Jahre äußerst spartanisch: Es gab lediglich Höhen- und Geschwindigkeitsmesser, einen Kompass sowie eine Borduhr. Zusätzlich gab es neben der Treibstoffvorratsanzeige noch Anzeigegeräte für Drehzahl und Öldruck des Propellers. Die Piloten flogen nach Sicht und Gefühl und das ermöglichte somit nur Flüge bei Schönwetter oder in klaren Nächten. Ein aus damaliger Sicht revolutionäres Verfahren war erforderlich geworden, als die ersten Fluggesellschaften ihre Routennetze aufbauten und die Flugpläne auch bei schlechtem Wetter oder in der Nacht einhalten wollten – der

¹⁹ Vgl. Grant, R. G. (2008), S. 397-401.

²⁰ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3422.

Blindflug. Im Blindflug können sich die Piloten nicht mehr auf Ihre Sinne verlassen und so mussten zusätzliche, ganz neue Instrumente in die Cockpits eingebaut werden. Da in der Nacht der Erdhorizont als Anhalt fehlt, wurde die Quer- und Längslage des Flugzeuges mit Hilfe des Kreiselneigungsmessers, dem sogenannten Gyrorektor, angezeigt. Daraus entstand nach vielen Verbesserungen der künstliche Horizont, der in vielen Variationen auch heute noch zur Standardausrüstung blindflugtauglicher Flugzeuge gehört.²¹

Aber nicht nur das Gefühl für die Lage des Flugzeuges im Raum geht verloren, sondern auch der Richtungssinn. Schon 1918 wurde daher ein Richtungsweiser entwickelt, der später als Wendezeiger zum unverzichtbaren Bestandteil der Blindfluginstrumentierung wurde. Der Wendezeiger stellt die Lage des Flugzeuges bezogen auf seine Längs- und Hochachse dar und ist ebenfalls auf der Basis des Kreiselprinzips aufgebaut.²²

Die Piloten hielten das Konzept des Blindfluges für verfrüht und es hagelte Proteste. Der Abschied von der Schönwetterfliegerei fiel schwer, da sich die Piloten gegen ihr vertrautes Gefühl gegebenenfalls nun ganz auf die Instrumente verlassen mussten. Der Übergang vom Sicht- zum Instrumentenflug vollzog sich seit 1927 und im Winter 1929/30 wurde dieses Verfahren dann obligatorisch eingeführt.

In dieser Pionier-Ära des Luftverkehrs wurde auch der Funkverkehr zwischen den Flugzeugen und den Bodenstationen eingeführt. Eine weitere Neuerung waren Funkpeilungen zu Radiosendern, mit denen die Position der Maschine auf wenige hundert Meter genau ermittelt werden konnte. Mit diesen neuen Hilfsmitteln war es nun auch bei schlechtem Wetter möglich, blindfliegende Flugzeuge an die Flugplätze heranzuführen. Die Landungen selbst waren aber noch – je nach Nebelage oder Höhe der Wolkendecke – mit Risiken verbunden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg kamen weitere Funknavigationsinstrumente dazu:

- ADF (Automatic Direction Finding) der die Flugrichtung zu einem am Boden installierten Funkfeuer (NDB, Non Directional Beacon) anzeigt und
- VOR (VHF Omnidirectional Range) mit deren Hilfe Mittelwellen- und UKW-Funkfeuer angepeilt werden können, die sich entlang der Luftstraßen am Boden befinden.

²¹ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3422-3423.

²² Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3423.

Im Flugverkehr wurde das Instrumentenlandesystem (Instrument Landing System, ILS) eingeführt und dazu war im Cockpit ein neues Kreuzzeigergerät notwendig, mit dem das Flugzeug genau auf den Strahlen des Gleitweg- und Landekursenders zum Boden gesteuert werden konnte. Das Wettergeschehen verlor immer mehr an Bedeutung für die sichere und pünktliche Einhaltung der Flugpläne. Aus den ersten, schon in den 1930er Jahren entwickelten automatischen Steuerungen entstand schließlich der Autopilot, der die Arbeitsbelastung im Flug drastisch reduzieren half. Die ersten Autopiloten dienten aber lediglich dazu, ein Flugzeug unter normalen Flugbedingungen mit einigen Abweichungen von Punkt A nach Punkt B zu bringen.

Die Verbesserung der Cockpitinstrumentierung führte aber auch schrittweise zu einer Verringerung der Besatzungsmitglieder: Mit Einführung des Sprechfunkverkehrs konnte der Funker eingespart werden und in den 1960er Jahren wurde der Navigator durch das neue Trägheitsnavigationssystem (INS, Inertial Navigation System) abgelöst.²³

Nach den Erfahrungen mit derartigen Avionik Systemen wurde begonnen weitere Teile des Flugablaufes mittels Computerunterstützung zu optimieren. Unter Zuhilfenahme von Signalen einer Bodenstation setzen automatische Landesysteme Flugzeuge auch ohne Sicht sicher auf der Landebahn auf. Darüber hinaus ist es heutzutage möglich, auch die Bremsmanöver beim Aufsetzen vollautomatisch durchzuführen.

Mit der permanenten Verbesserung der Computerleistung ging auch die Verstärkung der Unterstützung des Menschen im Mensch-Maschine-System Flugzeug einher. Um die Sicherheit zu erhöhen, wurden die Cockpits von Passagierflugzeugen mit immer aufwendigeren und zahlreicheren Instrumenten und vor allem Warnsystemen ausgestattet. Die Vielzahl der akustischen und optischen Warnsignale erschwerte jedoch bei Störungen die Suche nach und die Beseitigung von Fehlerquellen. So sind zum Beispiel im Cockpit der im Jahre 1969 in Dienst gestellten Boeing 747-100 (siehe Abbildung 4) bereits über 450 verschiedene Warnanzeigen und Warnsirenen installiert.²⁴

In den 1970er Jahren wurde daher begonnen Cockpits zu entwerfen, bei denen die Instrumenteninformation für die Piloten durch Computer priorisiert, gefiltert, aufbereitet und statt auf analogen Anzeigen auf Bildschirmen dargestellt werden. Die ebenfalls neu eingeführten Sprachsynthesizer geben spezifische Warnungen

²³ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3423.

²⁴ Vgl. Chambers, Alan B.; David C. Nagel (1985): Pilots of the future: human or computer? In: Communications of the ACM. Volume 28, Issue 11 (November 1985). S. 1192.

und Kommandos. Mit dem Einzug von multifunktionalen Bildschirmen wurde der Weg frei für verschiedenste neue Formen von Informationen für die Flugzeugbesatzung.



Abbildung 4: Das Cockpit einer Boeing 747-100. Bei allen Flugzeugen, von der Sportmaschine bis zum Jumbo Jet, ist die Anordnung der Instrumente ähnlich: Hinter den Steuersäulen befinden sich die wichtigsten Anzeigen in doppelter Ausführung, wie zum Beispiel der künstliche Horizont, das Variometer zur Bestimmung der Steig- und Sinkgeschwindigkeit, Kompass, Fahrtmesser usw. In der Mitte liegen die Triebwerksinstrumente, auf der Konsole sind Trimmung und Triebwerkssteuerung angeordnet. An der Decke (Overhead Panel) sind Schalter für Elektrik und Funkgeräte untergebracht. Hinter den Piloten befindet sich der Platz des Flugingenieurs der für die Überwachung der einzelnen Flugzeugsysteme verantwortlich ist. (Quelle: Prajay Patel, <http://www.airliners.net>)

1.3.1 Bildschirmgeräte

Der nächste große Fortschritt bahnte sich Anfang der 1980er Jahre an. Die rasante Weiterentwicklung der Elektronik führte bei den Verkehrsflugzeugen der damals neuesten Generation zum sogenannten gläsernen Cockpit. Wo bis dato die vertrauten Instrumente, wie z.B. der künstliche Horizont oder der Geschwin-

digkeits- und Höhenmesser eingebaut waren, wurden in der Boeing 757 (Erstflug am 19. Februar 1982), Boeing 767 (Erstflug am 26. September 1981) und dem Airbus A310 (Erstflug am 3. April 1982) Bildschirme (5 x 5 Zoll, 12,7 x 12,7 cm groß) montiert. Diese Bildschirminstrumente boten so viele Informationen und so übersichtliche Darstellungen der Fluglage sowie der Navigationsdaten, dass die herkömmliche Instrumentierung viel schneller als erwartet aus den Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge verschwinden sollte.

Im Airbus A310 sind zum Beispiel acht solcher Kathodenstrahlröhren (Cathode Ray Tube, CRT) über das Instrumentenbrett und die Mittelkonsole verteilt. Neben dem künstlichen Horizont und der Navigationsübersicht informieren die Bildschirme die Flugzeugbesatzung auf elektronisch erzeugten Bildern über den Zustand der Systeme, der früher von elektromechanischen Instrumenten dargestellt wurde. Mit dieser Informationsbündelung konnte nun auch der Flugingenieur in Großraumflugzeugen eingespart werden.

Im Grunde handelt es sich bei den Bildschirmen aber nur um die Fenster, mit denen die Piloten in die Welt der Digital-Computer blicken. Auf den farbigen Anzeigen werden Darstellungen präsentiert, die von den Bordrechnern aufgrund einer vielfältigen Datenflut aufbereitet werden. Die Ausgangsinformationen kommen entweder von außen (wie z.B. Luftdruck und -temperatur, Signale von Funkfeuern) oder von den Bordsystemen des Flugzeuges (Triebwerksdaten, Hilfsturbine, Steuerbewegungen, Elektrik, Hydraulik, Pneumatik, Klimatisierung, Treibstoffanlagen, Tore oder Fahrwerk).²⁵

1.4 Entwicklung der Avionik

Überblicksmäßig ist nachstehend die technologische Entwicklung der Avionik aufgelistet, wobei die, die jeweilige Technikära prägende Flugzeugtype, vorangestellt wird. Das mögliche Einsparungspotential der Digital- versus Analog-Technik ist in Tabelle 3 dargestellt.

Vor 1946: Junkers Ju 52, Douglas DC-2, Douglas DC-3

- Manueller Streckenflug von A nach B;
- Landung nach Wolkendurchstoß auf Flugfeld/Wiese.

Nach 1946: Douglas DC-3, Douglas DC-4, Douglas DC-6, Lockheed L-749 Constellation

²⁵ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3423-3424.

- Streckenflug auf Luftstraßen, teils mit Autopilot;
- Landung nach Wolkendurchstoß und ILS-Anflug auf befestigter Piste von Hand.

	Airbus A300 Analog (1972)	Airbus A310 Digital (1982)	Airbus A320 Digital (1987)
Gewicht (inkl. Leitungen)	455 kg	328 kg	20 kg
Anzahl der Computer	45	29	2
Volumen der Computer	19.500 cm ³	8.800 cm ³	2.600 cm ³
Komponentenkarten	370	75	10
Komponenten	32.000	16.000	2.500
Energiebedarf	1.700 W	550 W	160 W

Tabelle 3: Vorteile der Digitaltechnik – Automatische Flugführung. Innerhalb einer Dekade konnte das Gewicht, die Anzahl der Computer und der Energiebedarf auf deutlich weniger als ein Zehntel reduziert werden. (Quelle: Airbus Industrie)

Um 1955: Douglas DC-6, Douglas DC-7, Lockheed L-1049 Super Constellation, Aérospatiale (Sud Aviation) SE 210 Caravelle, de Havilland DH.106 Comet 4, Boeing 707, Douglas DC-8

- Genauer Streckenflug über Land und See, bedingt durch dichtes Luftstraßennetz, teils mit rechnergestützten Autopiloten;
- Landung bei geringen Wolkenhöhen, 200 Fuß, und geringer Sichtweite, 800 Meter, nach ILS-Anflug von Hand.

Um 1965: Boeing 707, Boeing 727, Boeing 737, Boeing 747, McDonnell Douglas DC-9, McDonnell Douglas DC-10, Airbus Industrie A300, Lockheed L-1011-500 TriStar, BAC One-Eleven, BAe (Hawker Siddeley) Trident 2E

- Sehr genauer Streckenflug mit Autopilot, der Funknavigations- bzw. INS-Daten verarbeitet;
- automatische Landung bei Mindestsichtbedingungen von vertikal 100 Fuß (30,48 Meter) und horizontal 200 Meter (CAT III A); teils automatisches Ausrollen.

Ab 1980: Boeing 757, Boeing 767, Boeing 777, Boeing 787, Airbus Industrie A310, Airbus Industrie A318/A319/A320/A321, Airbus Industrie

A330/A340, Airbus Industrie A380, McDonnell Douglas MD-11, McDonnell Douglas MD-80, McDonnell Douglas MD-90

- Automatischer Streckenflug, der mit autonomen Navigations- und Flugleistungsdatenrechnern ökonomisch optimiert werden kann;
- Automatische Landung mit automatischem Ausrollen bei Mindestsichtbedingungen, die geringer sind als heute für CAT III B (vertikal 50 Fuß [15,24 Meter], horizontal mindestens 75 Meter) erforderlich.²⁶

1.5 Forschungsfrage und Methodik

Vor gar nicht allzu langer Zeit waren die Cockpits von Verkehrsflugzeugen noch mit wenigen einfachen, im Vergleich zu heute geradezu primitiven, Instrumenten ausgestattet. Die gesamte Last der Steuerung und Kontrolle lag bei den Piloten. Heute wird ihnen ein großer Teil dieser Bürde von hochautomatisierten Systemen abgenommen. Dies ist für Piloten einerseits eine Erleichterung, bringt aber andererseits auch eine Menge von Problemen mit sich, obwohl sich die Sicherheit der Fliegerei seit den Anfängen mit Hilfe des technischen Fortschritts enorm gesteigert hat. Fraglich ist jedoch, ob eine immer weiter fortschreitende Automatisierung, eine weitere Steigerung der Sicherheit mit sich bringt oder ob das Optimum bereits erreicht ist. Es stellt sich ja heute nicht mehr die Frage, ob eine Funktion im Cockpit automatisiert werden kann, sondern ob diese überhaupt automatisiert werden soll.²⁷

In der vorliegenden Arbeit soll daher die folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

3, 2, 1? In den 1980er Jahren konnte durch das sogenannte Forward Facing Crew Concept und neuer Technologie in modernen Verkehrsflugzeugen der Weg vom Dreipersonen-Cockpit zum Zweipersonen-Cockpit geebnet werden. Konnte durch den vermehrten Computereinsatz die Flugsicherheit gesteigert werden und kann in weiterer Folge der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Elektronik/Computer/Prozessoren einen weiteren Piloten ersetzen sowie den Weg für das Einpersonen-Cockpit ebnen?

Zu Beginn der These stand die Literaturrecherche, die Fachbücher und Zeitschriften aus den Bereichen der zivilen Luftfahrt, neuer Cockpit-Technologien und der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Cockpit moderner Verkehrsflugzeuge so-

²⁶ Vgl. Ziegler, Roland (1982): Triumph der Elektronik – Revolution in der Luft- und Raumfahrt. In: Flug Revue. Nr. 9, September 1982. S. 15.

²⁷ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 109.

wie der Flugunfall-Analyse umfasste. Für die Beschreibung der Cockpitsysteme von Airbus A320, Airbus A340, Airbus A380 und Boeing 787 Dreamliner wurde auf technische Dokumentationen der Hersteller zurückgegriffen. Die Diplomarbeit ist als qualitative Arbeit ausgelegt und an die Ergebnisse einer ausführlichen Inhaltsanalyse der vorhandenen Literatur angelehnt.

1.6 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 beschreibt das Cockpit eines Airbus A320, wobei besonderes Augenmerk auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle gelegt wird. Nach einem kurzen Überblick über den prinzipiellen Aufbau des Cockpits und die Anordnung der Instrumente, werden anhand praktischer Beispiele die einzelnen Systeme beschrieben und deren Funktionsweise erklärt. Ergänzt wird diese Beschreibung durch zusätzliche Informationen zu den eingesetzten Computerarchitekturen und Programmiersprachen. Anschließend werden technologische Neuerungen, wie sie z.B. im Airbus A340, Airbus A380 oder dem Boeing 787 Dreamliner zum Einsatz kommen, vorgestellt.

Kapitel 3 widmet sich dem Weg zur Zulassung bzw. Zertifizierung eines neuen Flugzeuges am Beispiel des Airbus A320. Anschließend werden zwei Standards der Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) vorgestellt, die den Einsatz von Computersystemen und Software in modernen Verkehrsflugzeugen regeln. Die Richtlinie RTCA DO-160F „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“ legt fest, welche Testverfahren für die Zulassung von Computersystemen zur Anwendung kommen. Das Dokument RTCA DO-178B „Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification“ soll sicherstellen, dass neu entwickelte Software mit den Luftfahrtanforderungen im Einklang steht.

Kapitel 4 gibt einen Einblick über das erste Einsatzjahr des Airbus A320 bei Air France und beschreibt anschließend Flugunfälle die unmittelbar durch Computerfehler oder eine schlecht programmierte Mensch-Maschine-Schnittstelle verursacht wurden. Neben den relevanten Informationen zum Unfallhergang wird auch auf die anschließenden Modifikationen durch Airbus Industrie näher eingegangen. Abschließend soll der erste Teil der Forschungsfrage beantwortet werden, ob sich der vermehrte Computereinsatz in modernen Verkehrsflugzeugen und das über Bord werfen alter Traditionen wie z.B. das Ersetzen des Steuergestänges durch die Fly-by-wire Steuerung oder die Einführung des Sidesticks, positiv oder negativ auf die Unfallbilanz ausgewirkt hat.

Kapitel 5 widmet sich dem Thema der Automation in den Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge. Nach einem kurzen Überblick über den Beruf des Piloten behandelt dieser Abschnitt unter anderem den Ursachenfaktor Mensch und vermittelt einen Überblick über das Fehlverhalten von Piloten. Es werden die treibenden Kräfte der Automatisierung ebenso betrachtet, wie allgemeine Problembereiche sowie Zielsetzungen für den Einsatz automatischer Systeme. Nach einer kurzen Einführung in die Anthropotechnik und der Auflistung der wichtigsten Richtlinien für das Design der Mensch-Maschine Schnittstelle im Cockpit, soll der zweite Teil der Forschungsfrage: „3, 2, 1? Kann der technologische Fortschritt auf dem Gebiet der Elektronik/Computer/Prozessoren einen weiteren Piloten ersetzen sowie den Weg für das Einpersonen-Cockpit ebnen?“ beantwortet werden.

Das abschließende Kapitel 6 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen.

2 Das Cockpit des Airbus A320

In den vergangenen Jahrzehnten sind Flugzeuge nicht nur größer, sondern auch schneller geworden. Die Technik wurde folglich komplexer und benötigte mehr Platz. Bei größeren Flugzeugen wie Boeing 747, McDonnell Douglas DC-10 und Airbus A300 wurden daher Systeme, die für die Führung des Flugzeuges nicht unmittelbar notwendig waren, seitlich im Cockpit angeordnet und von einem dritten Besatzungsmitglied, dem Flugingenieur, überwacht bzw. bedient. Zwar konnten die Piloten über ein Warnsystem die Tätigkeit des dritten Besatzungsmitgliedes verfolgen, ein direktes Überwachen seiner Handlung oder gar die Übernahme seiner Funktion bei Ausfall eines Systems wurde jedoch durch die seitliche Anordnung der Instrumente und Anzeigegeräte erschwert.²⁸

Das von Airbus Industrie entwickelte Forward Facing Crew Concept (FFCC) war als logische Folge der zunehmenden Verwendung von CRT Darstellungsgeräten in Verkehrsflugzeugen zu betrachten und wurde bereits 1973 von Aérospatiale erwogen. Die Einführung von CRT Bildschirmen (heute LCD Displays) bot die Flexibilität, die für die bestmögliche Integration der verschiedenen Funktionen erforderlich war. Im FFCC war die in bisherigen Dreipersonen-Cockpits seitlich hinter dem Kopilotensitz angeordnete Armaturentafel des Flugingenieurs nicht mehr vorgesehen. Die Funktionen wurden vielmehr in das Hauptinstrumentenbrett, auch mit Unterstützung einer neuen Druckschaltertechnologie, in das Overhead Panel über der Besatzung integriert. Diese Auslegung legte nahe, dass der Flugingenieur hinter der Mittelkonsole mit Blickrichtung auf das Hauptinstrumentenbrett sitzt. Aus dieser Sitzposition sollte er in der Lage sein, die Arbeit der Piloten kontinuierlich zu überwachen, die ihrerseits aber auch seine Arbeit überwachen konnten.²⁹

Der technologische Fortschritt und nicht zuletzt auch wirtschaftliche Gründe führten rascher als geplant zur Wiedereinführung des Zweipersonen-Cockpits.

2.1 Übersicht

Das Cockpit des Airbus A320 ist deutlich in drei Bereiche gegliedert (siehe Abbildung 5):

²⁸ Vgl. Müller, Peter (1983), S. 250.

²⁹ Vgl. Chopping, Douglas H. (Hrsg.) (1980): Airbus A310 – Debatte über Cockpitauslegung und Mindestbesatzung. In: Interavia. 35. Jahrgang, Heft 3, März 1980. S. 228.

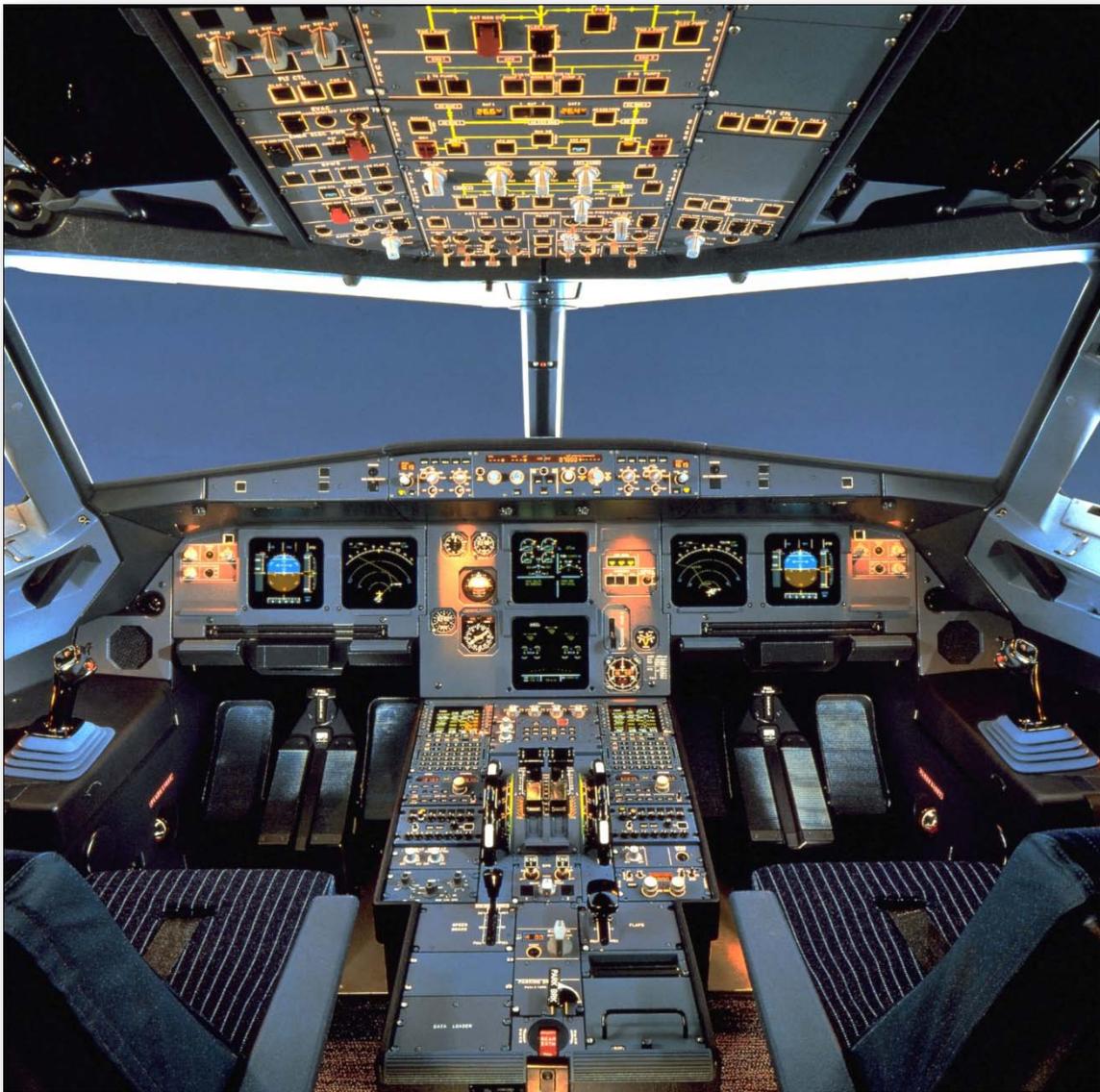


Abbildung 5: Das Cockpit des Airbus A320: Die allgemeine Cockpitauslegung basiert auf den mit früheren Airbus Modellen gewonnenen Erfahrungen (Zweipersonen-Cockpit) und berücksichtigt gleichzeitig die neuesten technologischen Entwicklungen wie z.B. seitliche Steuergriffe, elektronische Fluginstrumente oder das elektronisches Informations- und Überwachungssystem. (Quelle: Airbus Industrie, <http://www.airbus.com>)

Das Overhead Panel (die Bedientafel über den Köpfen der Piloten) enthält alle Systeme, außer den eigentlichen Fluginstrumenten. Die häufiger zu betätigenden Schalter sind im vorderen, am leichtesten zu erreichbaren Bereich, zusammengefasst, dahinter liegen die seltener benötigten Elemente.³⁰ Die optimale Anord-

³⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.25.10 P 14.

nung in diesem Bereich wurde dank der neuen Druckknopftechnologie ermöglicht.

Die Lämpchen in den einzelnen Druckschaltern sorgen auf einer kleinen Fläche für eine bessere Übersichtlichkeit und helfen Fehlschaltungen zu vermeiden. Zugänglichkeit, Sicht- und Überwachbarkeit wurden nach den damaligen Erkenntnissen der Arbeitsmedizin optimiert.³¹

Der vordere Teil des Overhead Panels enthält hauptsächlich die Druckschalter für Routinevorgänge im Flug, wie z.B. Kabinendruck oder -temperatur, während der hintere Teil nur bei der Cockpitvorbereitung und in Notfällen benötigt wird. Diese Auslegung würde es erforderlich machen, dass die Besatzung regelmäßig einen Blick nach oben wirft, um gegebenenfalls Störungen zu erkennen. Aus diesem Grund werden sämtliche Fehler zusätzlich durch ein akustisches Signal angezeigt. Liegen keine Beeinträchtigungen vor, so soll das Bedienungs Brett im Wesentlichen dunkel sein (Lights-Out Philosophie), d.h. die Piloten können mit einem Blick den störungsfreien Betriebszustand daran erkennen, dass (fast) keine Lampen leuchten (unter der Voraussetzung, dass alle Lämpchen funktionieren).³²

Das Hauptinstrumentenbrett wird zur Frontscheibe hin durch ein Armaturenbrett, dem sogenannten Glareshield, vor Sonneneinfall geschützt. Hier befinden sich, für beide Flugzeugführer leicht erreichbar, Bedienelemente für die automatische Flugführung (Autopilot) und für die elektronischen Fluginstrumente sowie zwei auffallend große, nebeneinander angeordnete Bildschirme auf der Kapitäns- und auf der Kopilotenseite. In der Mitte des Hauptinstrumentenbretts sind übereinander zwei weitere Monitore für das elektronische Überwachungssystem sowie Anzeigen und Hebel für das Hauptfahrwerk untergebracht. Die verbleibende Instrumentierung ist konventionell und beinhaltet die erforderlichen Notinstrumente für Fahrt, Höhe, Richtung und künstlichen Horizont. Sie sollen den Piloten ein Minimum an Instrumentierung für den unwahrscheinlichen Fall des totalen Stromausfalles bieten.³³

Auf der Konsole zwischen den beiden Pilotensitzen sind zwei mit kleinen Bildschirmen ausgestattete Bediengeräte für den automatischen Flugwegrechner (Flight Management and Guidance System, FMGS) sowie das Bediengerät für die mittleren Monitore und die Frequenzwahlgeräte für Funkfeuer und Instrumenten-

³¹ Vgl. Müller, Peter (1983), S. 252.

³² Vgl. Chopping, Douglas H. (Hrsg.) (1980): Airbus A310 – Debatte über Cockpitauslegung und Mindestbesatzung. In: Interavia. 35. Jahrgang, Heft 3, März 1980. S. 229.

³³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.25.10 P 11 – 1.25.10 P 12.

landesystem installiert. Der Mittelteil der Konsole nimmt Trimmräder und Schubhebel, der hintere Teil die Störklappen- und Landeklappenhebel auf.^{34, 35}

2.2 Overhead Panel

Bei früheren Cockpit Entwürfen beanspruchte die Systembedienung mit ihren Schaltern, Zustandsanzeigen und Warnlichtern oft so viel Platz, dass sie außerhalb der Reichweite der Piloten auf ein seitlich angeordnetes Instrumentenbrett ausgelagert werden musste und ein drittes Besatzungsmitglied erforderte. Das Zweipersonen-Cockpit, zu Zeiten der Douglas DC-3 in den 30er Jahren alltäglich, war deswegen bei Verkehrsflugzeugen wie der McDonnell Douglas DC-9 (Erstflug am 25.02.1965) oder der Boeing 737 (Erstflug am 09.04.1967) die Ausnahme.

In modernen Airbus Flugzeugen ermöglichte eine neue Druckschaltertechnologie die Rückkehr zur Zweimannbedienung: Dieser 19 x 19 Millimeter große Schalter ist in zwei Hälften getrennt beleuchtbar. Er kann somit drei verschiedene Informationen signalisieren: Schalter unbeleuchtet, obere Hälfte beleuchtet sowie untere Hälfte beleuchtet (siehe Abbildung 6).

Diese raumsparende Integration von Schalt- und Anzeigefunktionen in einem Bauteil ließ die Anordnung der Systembedienung im Overhead Panel zu. Hier sind die Druckschalter nach den Systemgruppen Triebwerke, Hydraulik, Treibstoff, Elektrik, Klimatisierung, Enteisierung und Kabinendruck sowie Steuerflächen in logische Flusslinien übersichtlich eingebettet und von beiden Piloten in gleicher Weise erreichbar.



Abbildung 6: Übersicht über die Farbgebung der Drucktastenschalter. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Eine streng durchgängige Farbgebung sorgt für eindeutige und klare Informationen an die Flugzeugbesatzung: Alle Systeme befinden sich in einem fehlerfreien Zustand, wenn kein Druckschalter leuchtet. Ein in der unteren Hälfte weiß leuch-

³⁴ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 40.

³⁵ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.25.10 P 13.

tender Druckschalter zeigt an, dass das System aus dem fehlerfreien Zustand geschaltet wurde. Blau in der unteren Hälfte ist die Farbe für ein nur gelegentlich verwendetes System, wie zum Beispiel die Hilfsturbine am Boden, und Grün signalisiert den Gebrauch eines Hilfssystems. Orange in der oberen Hälfte des Schalters lenkt die Aufmerksamkeit des Piloten auf einen Systemfehler. In einigen wenigen Fällen ist es rot und zeigt einen Alarm an. In diesem Fall ist ein sofortiges Eingreifen durch die Piloten erforderlich.^{36, 37}

Dieser von Airbus weiterentwickelte Farbcode hat den Vorteil, augenblicklich über den Zustand der verschiedenen Systeme zu informieren, was bei Übernahme des Flugzeuges durch eine neue Besatzung von großem Vorteil ist. Die Entwicklung der neuen, dunklen Anzeige- und Schalttafel mit Druckschaltern gestattet eine Verringerung der Anzahl der Arbeitsvorgänge und spart gleichzeitig Platz. Diese Lösung erfordert 45 bis 75 Prozent weniger Fläche und die Anzahl der erforderlichen Bauelemente sinkt um 30 bis 65 Prozent.³⁸

Wenn das Warnlicht in der oberen Hälfte eines Schalters orange oder rot aufleuchtet und somit einen Fehler signalisiert, identifiziert es damit für den Flugzeugführer eindeutig aus der Fülle der Druckschalter denjenigen, über den die Korrekturmaßnahme zu treffen ist. Wird der Schalter gedrückt, verlöscht das Licht in der oberen Hälfte, sobald der Fehler neutralisiert ist und die untere zeigt nun mit einem weißen OFF oder ON den anormalen Zustand an.

Da auch das Nichtaufleuchten eines Druckschalters eine wichtige Information ist, muss vor jedem Start sichergestellt werden, dass nicht etwa defekte Lämpchen irreführen. Durch Drücken eines Schalters leuchten alle Lämpchen im Overhead Panel auf. Die Besatzung kann so die einwandfreie Funktion der einzelnen Anzeigen überprüfen und defekte Lampen durch einen Techniker auswechseln lassen.³⁹

2.3 Systemüberwachung

Es darf nicht das Ziel eines guten Cockpitentwurfes sein, die Flugzeugführer zu zwingen, immer wieder routinemäßig einen Blick auf das Overhead Panel zu werfen, um zu sehen, ob alle Systeme einwandfrei funktionieren da er sich auf Tätig-

³⁶ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 40-42.

³⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.25.10 P 1.

³⁸ Vgl. Chopping, Douglas H. (Hrsg.) (1980): Airbus A310 – Debatte über Cockpitauslegung und Mindestbesatzung. In: Interavia. 35. Jahrgang, Heft 3, März 1980. S. 228-229.

³⁹ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 42.

keiten der Flugzeugsteuerung konzentrieren muss. Das Overhead Panel liefert zwar die wichtigsten Informationen über alle Flugzeugsysteme, es dient jedoch primär als Bedienfeld.⁴⁰

Ausgiebigere und vor allem besser im Blickfeld der Piloten liegende Informationen liefert das Flugzeug über sein elektronisches Informations- und Überwachungssystem, dem sogenannten Electronic Centralized Aircraft Monitoring (ECAM). Das ECAM System hat die Aufgabe die Besatzung bei der Systemüberwachung zu entlasten und es soll das rasche Erkennen und Erfassen einer Störung ermöglichen. Dies geht soweit, dass das System auch die entsprechenden Schritte für das weitere Vorgehen im Falle einer Störung vorgibt. Der Pilot muss so nicht mehr ständig und systematisch alle Systemanzeigen während des Fluges überprüfen, um festzustellen, ob sich die Parameter innerhalb der zulässigen Grenzwerte bewegen. ECAM übernimmt weitestgehend diese Aufgabe.

Die entsprechenden Informationen werden im Cockpit auf zwei übereinander angeordneten Bildschirmen in der Mitte der Hauptkonsole angezeigt: Oben ist das Engine/Warning Display, darunter das System Display installiert (vgl. Abbildung 5). Es handelt sich dabei um farbtüchtige Kathodenstrahlröhren, die über dreifach ausgelegte Symbolgeneratoren (Display Management Computer, DMC) und zweifach vorhandene Flugwarnrechner (Flight Warning Computer, FWC), die Parameter sämtlicher Flugzeugsysteme erfassen, auswerten und anzeigen.⁴¹ Folgende Systeme werden permanent überwacht und, entweder auf Wunsch oder in einer bestimmten Flugphase automatisch, auf dem System Display angezeigt (für Beispiele siehe Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 10 rechts, Abbildung 12 rechts, Abbildung 13 rechts, Abbildung 14 rechts und Abbildung 16 rechts):

- Sekundäre Triebwerksdaten (Secondary Engine Parameters, ENGINE),
- Pneumatiksystem (Air Bleed, BLEED),
- Kabinendruck (Cabin Pressurization, CAB PRESS),
- Elektrik (Electric Power, ELEC),
- Hydraulik (Hydraulic, HYD),
- Treibstoff (FUEL),
- Hilfsturbine (Auxiliary Power Unit, APU),
- Klimaanlage (Air Conditioning, COND),
- Türen/Sauerstoff (Doors/Oxygen, DOOR/OXY),
- Fahrwerk, Bremsen, Spoiler, etc. (Landing Gear, Braking, Ground Spoilers, etc., WHEEL),
- Flugsteuerung (Flight Controls, F/CTL),

⁴⁰ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 42.

⁴¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.05 P 1 – 1.31.05 P 4.

- Reiseflug (CRUISE).⁴²

Solange der Flug planmäßig verläuft, dient das obere Display als Merktzettel (Memo) für die Besatzung. Angezeigt werden unter anderem die primären Triebwerksparameter, vorhandene Treibstoffmenge und die Stellung der Landeklappen.⁴³ Es gibt einige Systeme, die nur zeitweise benötigt werden, wie z.B. die Hilfsturbine (Auxiliary Power Unit, APU) zur Stromversorgung und Klimatisierung am Boden, die Anschall- und Nichtraucherzeichen oder die Landescheinwerfer. Solange solche Systeme eingeschaltet sind, werden sie in englischer Sprache auf dem Display im unteren Bereich aufgelistet – dem Flugzeugführer eine ständige Erinnerung sie auszuschalten, wenn er sie nicht mehr benötigt.⁴⁴

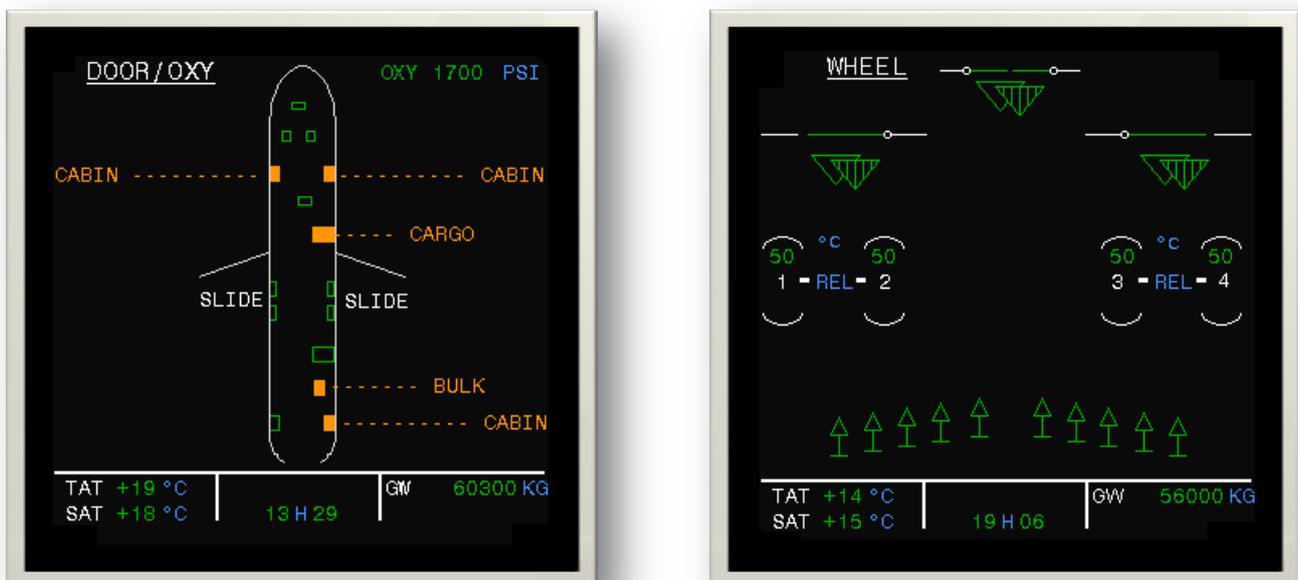


Abbildung 7: System Display DOOR/OXY und WHEEL. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Das System Display zeigt im Standardfall Routineinformationen. Welche Information gerade dargestellt wird, hängt von der augenblicklichen Flugphase ab:

Am Boden erscheint die Seite Türen (DOOR/OXY) und zeigt an, welche Türen bzw. Ladeluken noch geöffnet (orange Schrift und Symbole) und welche schon geschlossen (weiße Schrift und grüne Symbole) sind (siehe Abbildung 7 links).⁴⁵

⁴² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.20 P 1.

⁴³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.15 P 1, 1.27.50 P 6 – 1.27.50 P 7, 1.28.20 P 11, 1.70.90 P 5 – 1.70.90 P 9.

⁴⁴ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 42.

⁴⁵ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.52.20 P 1.

Wenn die Besatzung sich davon überzeugt hat, dass alle Türen geschlossen und verriegelt sind, lässt sie die Triebwerke an. Dabei wird die Seite Triebwerke (ENGINE) aufgeblättert mit ergänzenden Daten (Secondary Parameters) wie Treibstoffverbrauch, Ölmenge, Öldruck und Öltemperatur, die auf dem Engine/Warning Display nicht angezeigt werden.⁴⁶

Nach dem Verlassen der Parkposition werden unter der Überschrift WHEEL (Fahrwerk) die Bremsstemperaturen dargestellt.⁴⁷ Die Piloten können sich somit davon überzeugen, dass die Bremsen seit der letzten Landung ausreichend abgekühlt sind und damit für den immer einzukalkulierenden Startabbruch genügend Kapazität aufweisen (siehe Abbildung 7 rechts).⁴⁸

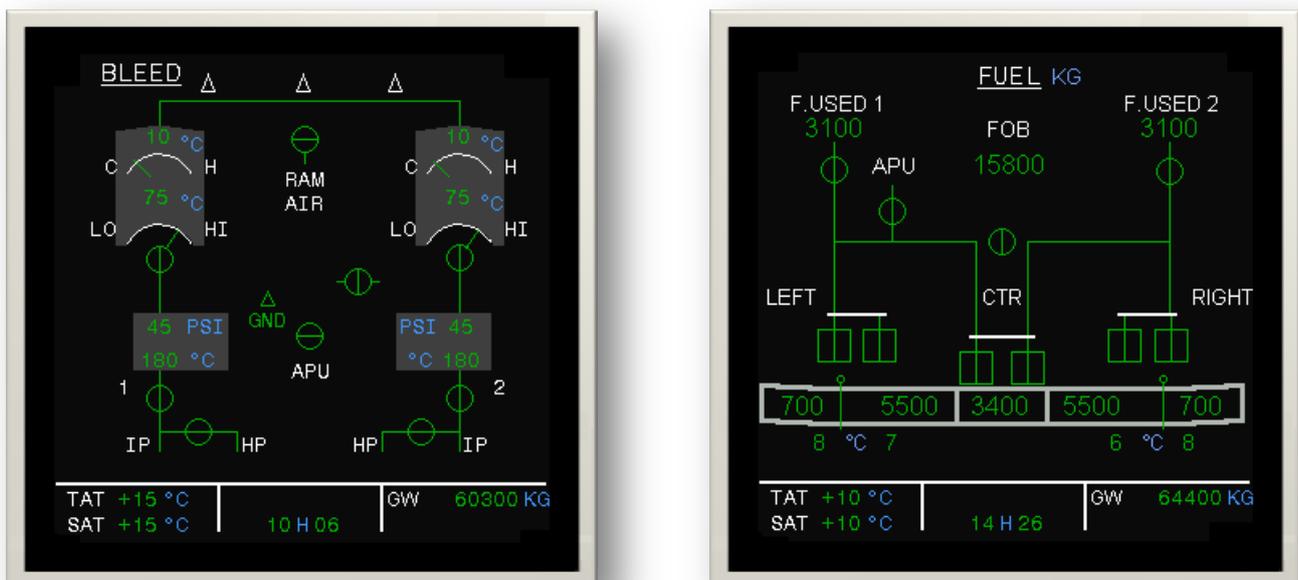


Abbildung 8: System Display BLEED und FUEL. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Während des Fluges zeigt die Seite Reiseflug (CRUISE) die für den Passagierkomfort wichtigen Temperaturen in der Kabine sowie einige sekundäre Triebwerksdaten an (siehe Abbildung 16 rechts).

Auf beiden Displays macht die beschriebene Routineinformation jedoch automatisch Platz für Wichtigeres, sobald ein System von einer Unregelmäßigkeit betroffen ist. Was in diesem Fall passiert, soll anhand eines Beispiels verfolgt werden.

⁴⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.70.90 P 5 – 1.70.90 P 12.

⁴⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.32.10 P 21 – 1.32.10 P 22.

⁴⁸ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 44.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in den Abbildungen 10, 12, 13, 14, 15 und 16 das Engine/Warning Display links und das zugehörige System Display rechts dargestellt.

Das Flugzeug befindet sich im Reiseflug. Am Engine/Warning Display sind neben dem Memo die wichtigsten Triebwerkparameter, vorhandener Treibstoff und die Position der Landeklappen dargestellt. Das System Display zeigt die CRUISE Seite, die einerseits die Temperatur in den einzelnen Zonen der Kabine, die Kabinenhöhe und andererseits weitere Triebwerkskenngrößen anzeigt (vgl. Abbildung 16 rechts).

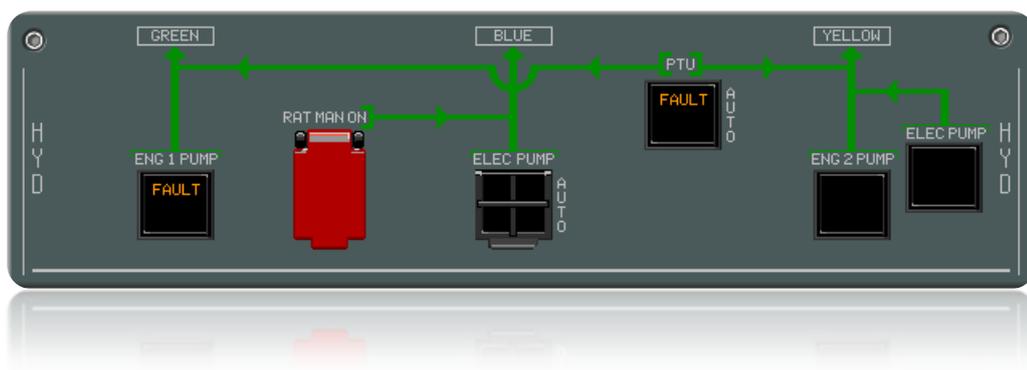


Abbildung 9: Druckschalter für das Hydrauliksystem im Overhead Panel. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Wir nehmen nun an, dass der Vorrat an Hydraulikflüssigkeit, der mit Grün bezeichneten Hydraulikanlage, unter den kritischen Wert von 3,5 Liter fällt.⁴⁹ Die Hydraulik – eines der wichtigsten Systeme im Flugzeug – wird aus drei voneinander unabhängigen, mit Grün, Blau und Gelb bezeichneten Kreisläufen versorgt.⁵⁰ Nun laufen mehrere Prozesse gleichzeitig ab: Ein akustisches Signal signalisiert den Fehler. Gleichzeitig leuchtet direkt im Blickfeld der Piloten die orange Master Caution (MASTER CAUT) Lampe auf und macht darauf aufmerksam, dass eine Störung vorliegt. Die Warnlampe soll für den unwahrscheinlichen Fall, dass beide ECAM Monitore während des Fluges ausfallen, dem Flugzeugführer in seinem normalen Blickfeld einen Hinweis darauf geben, dass im Overhead Panel diverse Fehler in den Druckschaltern angezeigt werden. Dort leuchten die obere Hälfte der Druckschalter GREEN ENG 1 PUMP und PTU (Power Transfer Unit) orange (FAULT) auf (siehe Abbildung 9).⁵¹

Den Flugzeugführer interessiert aber zunächst, was seine beiden ECAM Monitore anzeigen: Das Engine/Warning Display zeigt ihm in oranger Warnfarbe, dass

⁴⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.29.20 P 7 – 1.29.20 P 8.

⁵⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.29.10 P 1 – 1.29.10 P 6.

⁵¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.29.20 P 1 – 1.29.20 P 2.

das Hydrauliksystem von einem Fehler betroffen ist, dass – genauer – der Vorratsbehälter des Grünen Systems zu wenig Hydraulikflüssigkeit enthält (G RSVR LO LVL, Green Reservoir Low Level), und dass damit das gesamte Grüne System drucklos ist (G ENG 1 PUMP LO PR, Green Engine 1 Pump Low Pressure; G SYS LO PR, Green System Low Pressure). In blauer Farbe wird er zum Abschalten der Pumpe und der PTU (Power Transfer Unit) aufgefordert (PTU OFF, GREEN ENG 1 PUMP OFF). Das Systemdisplay hat gleichzeitig die Seite HYD (Hydraulic) aufgeschlagen und zeigt schematisch die Auswirkungen des Fehlers: Das Blaue und das Gelbe System arbeiten bei einem normalen Druck von 3.000 psi, der Strang des Grünen Systems ist einschließlich der Pumpe in Warnfarbe gezeichnet.⁵²

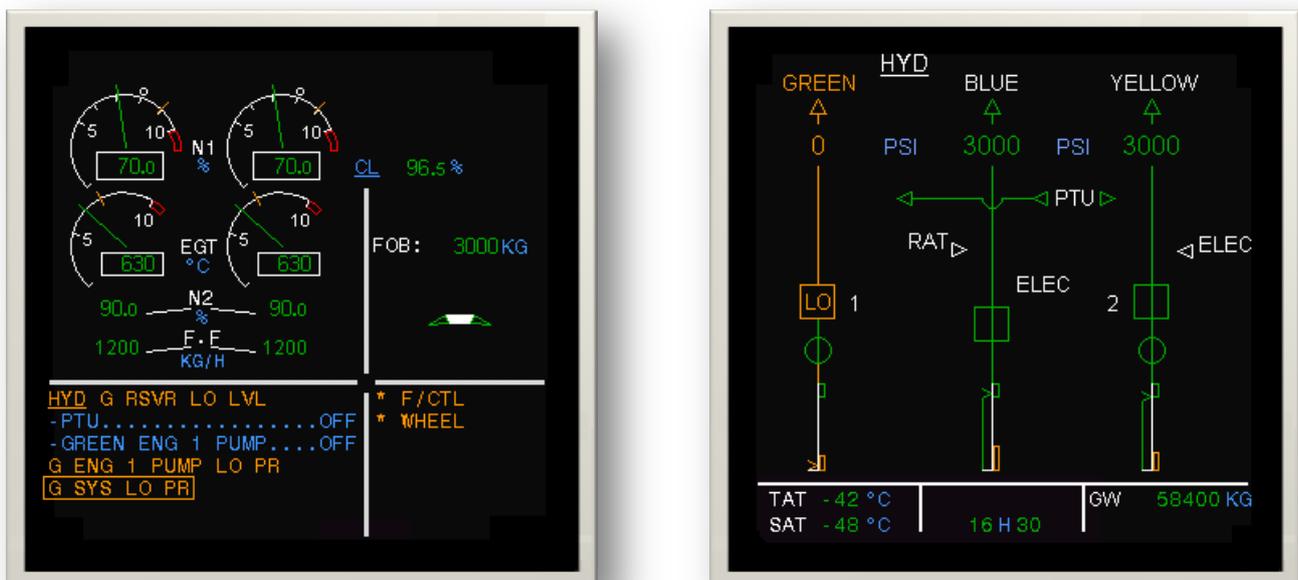


Abbildung 10: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 1: Das Engine/Warning Display (links) beschreibt den auslösenden Fehler (G RSVR LO LVL, Green Reservoir Low Level). Ein blaues OFF fordert zum Abschalten der Pumpe und der Power Transfer Unit (PTU) auf. Auf dem Systemdisplay (rechts) ist die Auswirkung schematisch dargestellt. Das betroffene Grüne System, einschließlich der Pumpe, wird in Warnfarbe gezeichnet. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Der erste Schritt ist es nun, auf den Master Caution Schalter (MASTER CAUT) zu drücken und somit die Lampe auszuschalten. Leuchtet der MASTER CAUT Schalter in der Folge ein weiteres Mal auf, wissen die Piloten, dass eine weitere Störung vorliegt.

⁵² Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 44.

Der Flugzeugführer kommt nun der Aufforderung der elektronischen Checkliste nach und deaktiviert über die Druckschalter **GREEN ENG 1 PUMP** und **PTU** im Hydraulik Teil des Overhead Panel die Pumpe und die Power Transfer Unit. Dabei wechselt in den Schaltern das Licht vom orangen **FAULT** in ein weißes **OFF** (siehe Abbildung 11).

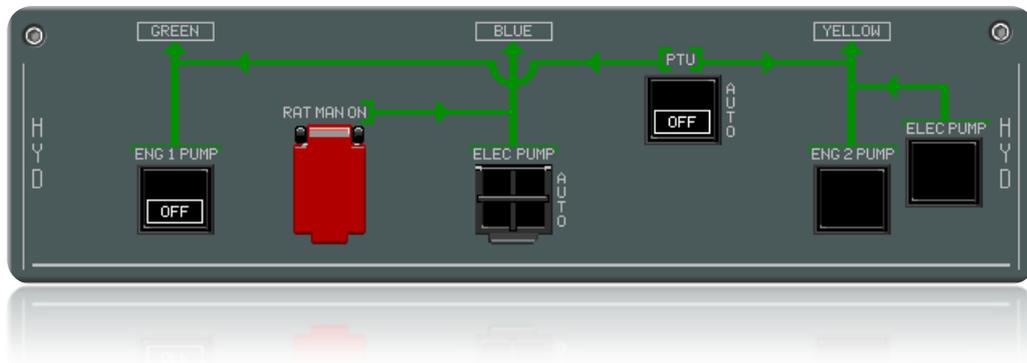


Abbildung 11: Abarbeiten der Checkliste über das Overhead Panel: Die Pumpe des Grünen Systems und die Power Transfer Unit (PTU) wurden ausgeschaltet. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Am System Display zeigt das Pumpensymbol im Grünen System durch einen horizontalen Strich im Rechteck an, dass die Pumpe ausgeschaltet ist. Im Vergleich dazu sind die Pumpen in den beiden anderen Hydrauliksystemen alle eingeschaltet, was der senkrechte Strich im Symbol andeutet. Die Power Transfer Unit, die bei bloßem Ausfall der Pumpe das Grüne System über das Triebwerk 2 speisen könnte, wird nun ebenfalls in Orange dargestellt (siehe Abbildung 12 rechts).

Das ECAM System quittiert die Handlung: Unter der Überschrift **HYD** werden die Auswirkungen des primären Fehlers **G ENG 1 PUMP LO PRESS** (Green Engine 1 Pump Low Pressure) angezeigt: **G SYS LO PR** (Green System Low Pressure). Auf dieser Seite sind somit alle Anweisungen ausgeführt. Das System weist jedoch auf sekundäre Fehler bei den Steuerflächen (Flight Controls, **F/CTL**) und dem Fahrwerk (**WHEEL**) hin (siehe Abbildung 12 links).

Erstmalig kommt das Bediengerät (ECAM Control Panel⁵³) für die beiden Monitore ins Spiel. Es befindet sich im vorderen Teil der Konsole und fordert den Flugzeugführer durch ein Licht im Druckschalter **CLR** (Clear) zum Umblättern auf. Wird **CLR** gedrückt, so erscheinen unter der Überschrift **F/CTL** (Flight Controls) die zur Abarbeitung der Folgefehler notwendigen Anweisungen und Informationen auf den Bildschirmen. Auf dem System Display sind alle Steuerflächen schema-

⁵³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.30 P 1 – 1.31.30 P 3.

tisch dargestellt und zwar die vom Ausfall des Grünen Hydrauliksystems betroffenen in oranger Farbe (siehe Abbildung 13 rechts).⁵⁴

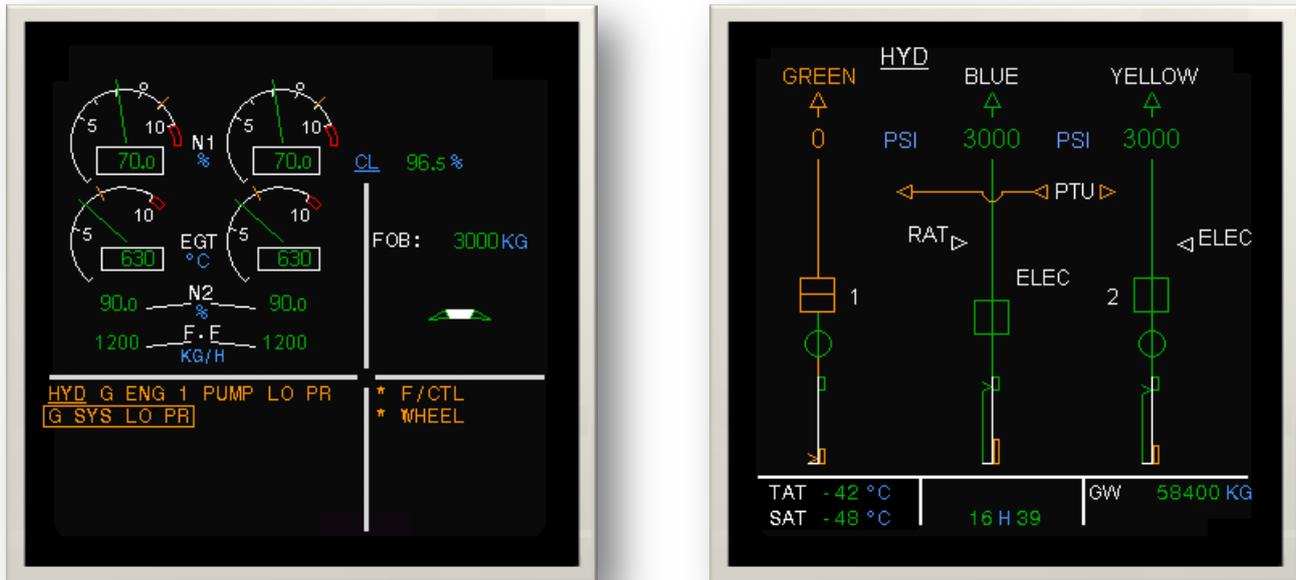


Abbildung 12: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 2: Das Engine/Warning Display zeigt die Auswirkungen des primären Fehlers: G SYS LO PR (Green System Low Pressure) und weist auf sekundäre Fehler (F/CTL, WHEEL) hin. Auf dem Systemdisplay wird der aktuelle Zustand des Hydraulik Systems angezeigt. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Die Spoiler 1 und 5 werden nur durch das Grüne Hydrauliksystem angetrieben und fallen daher aus.⁵⁵

Durch erneuten Druck auf den Clear Button des ECAM Control Panels werden die Sekundärfehler des Fahrwerks (WHEEL) angezeigt (siehe Abbildung 14 rechts). Für eine detailliertere Beschreibung sei der interessierte Leser auf Kapitel 1.32.20 und 1.32.30 des Flight Crew Operating Manual verwiesen.⁵⁶

Wird nochmals der CLR Knopf betätigt, so wird auf dem Engine/Warning Display wieder das Memo angezeigt. Auf dem System Display wird die Status Seite (STATUS) aufgerufen und es werden die Folgen des Hydraulikausfalls dargestellt. Folgende Systeme sind nicht funktionsfähig (siehe Abbildung 15 rechts):

⁵⁴ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 44.

⁵⁵ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.10 P 5.

⁵⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.32.20 P 1 – 1.32.30 P 12.

- Grünes Hydrauliksystem (GREEN HYD, Green Hydraulic),
- Spoiler 1 und 5 (SPLR 1+5, Spoiler 1+5),
- Landungen im Betriebskategorie 3 Dual (Fail Operational) Modus⁵⁷ (CAT 3 DUAL, Category 3 Dual)⁵⁸
- Lenkung des Bugfahrwerks (N.W. STEER, Nose Wheel Steering),
- Automatische Bremsung (AUTO BRK, Auto Break)⁵⁹,
- Standard Bremsverfahren (NORM BRK, Normal Breaking)⁶⁰,
- das Fahrwerk muss manuell ausgefahren (L/G GRVTY EXT, Landing Gear Gravity Extension) und kann nicht mehr eingefahren werden (L/G RETRACT, Landing Gear Retract),
- Schubumkehr des linken Triebwerks (REVERSER 1) sowie
- Gier Dämpfer 1 (YAW DAMPER 1).

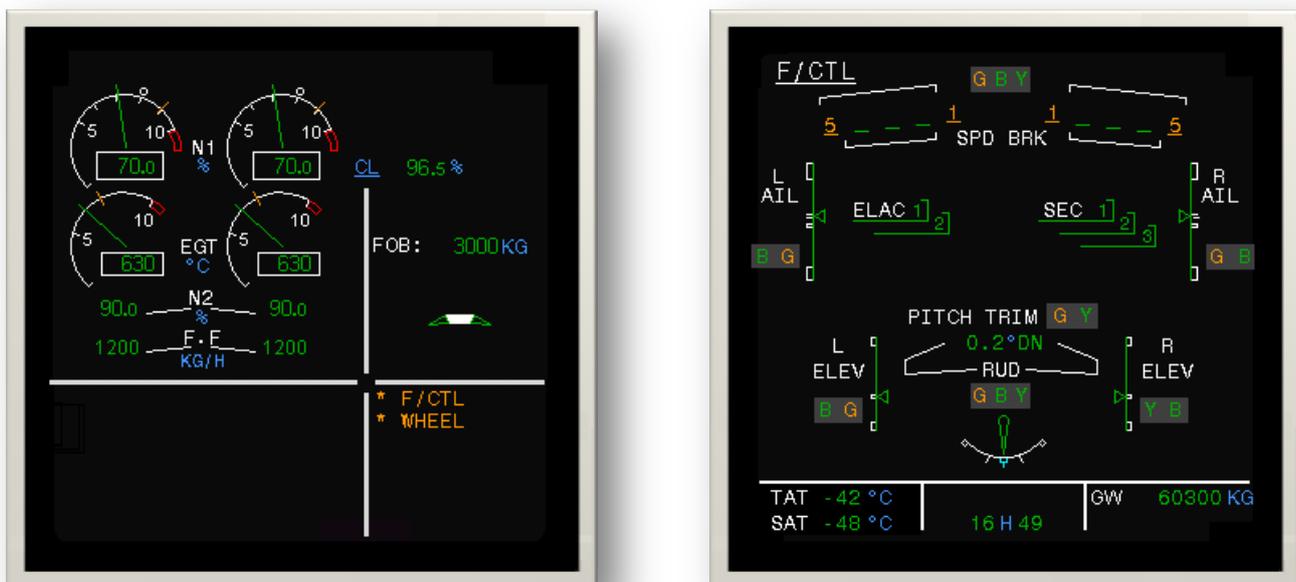


Abbildung 13: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 3: Auf dem Systemdisplay werden die, durch den Hydraulik Ausfall resultierenden, Sekundärfehler bei den Flight Controls (F/CTL) schematisch dargestellt. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Die Landeklappen fahren nur noch langsam aus (SLATS/FLAPS SLOW) da sie jetzt nur mehr von einem Hydrauliksystem betätigt werden. Folglich können Landun-

⁵⁷ Im Dual Modus ist volle Redundanz der Systeme gewährleistet. Airbus garantiert, auch bei Ausfall eines Systems, eine störungsfreie Landung.

⁵⁸ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2003), S. 3.01.22 P 3.

⁵⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.32.30 P 3.

⁶⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.32.30 P 4.

gen bei Kategorie 3 Landungen nur im Single (Fail Passive) Modus⁶¹ (CAT 3 SINGLE ONLY) durchgeführt werden.

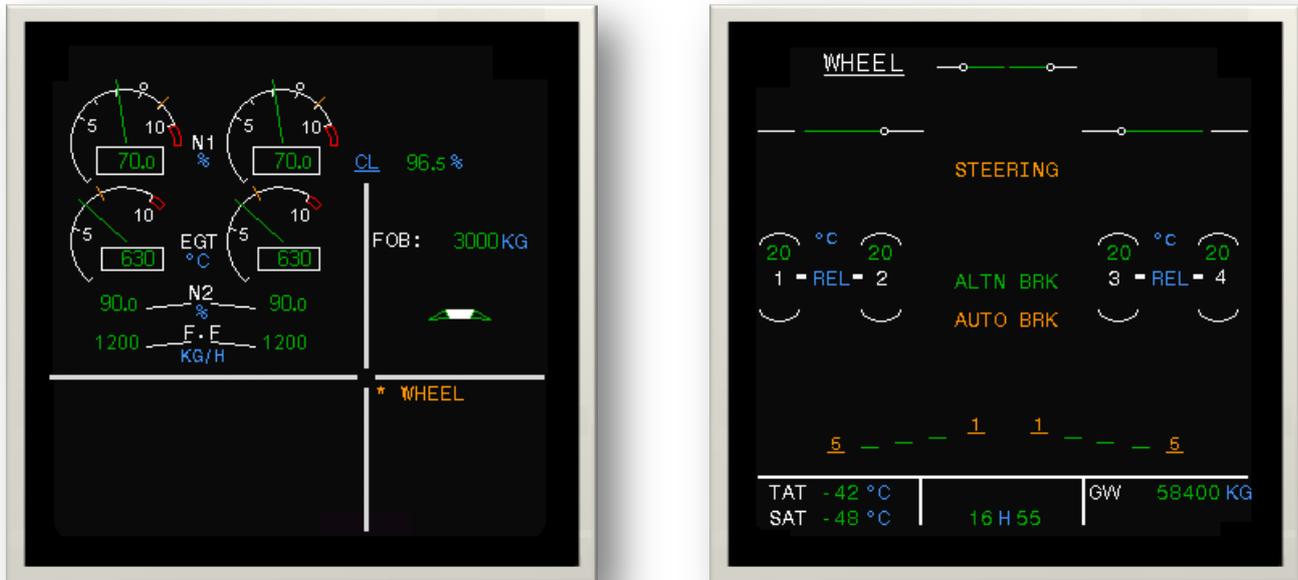


Abbildung 14: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 4: Durch Druck auf den Clear (CLR) Button im ECAM Control Panel werden die Sekundärfehler des Fahrwerks (WHEEL) angezeigt. (Quelle: Luft-hansa Flight Training GmbH)

Der obere Bildschirm ist zwischenzeitlich zur Routinedarstellung zurückgekehrt (Triebwerksdaten und Memo). Ein weiterer Druck auf die Taste CLR und auch auf dem unteren Display wird wieder die CRUISE Page angezeigt (siehe Abbildung 16). Das Kürzel STS am Engine/Warning Display erinnert aber daran, dass Statusmeldungen verfügbar sind. Diese können über den STS Button im ECAM Control Panel jederzeit abgerufen werden.

Die Piloten können sich jederzeit, auch ohne den Anlass eines Fehlers, vom Zustand der verschiedenen Systeme überzeugen. Sie müssen dazu nur den entsprechenden Knopf am ECAM Control Panel bedienen und es erscheint die gewünschte Seite auf dem System Display. Aufgedrängt wird ihnen diese Information aber nicht. Standardmäßig bekommt die Besatzung nur das zu sehen, was sie in einer bestimmten Situation wissen muss. Das Nichtvorhandensein von Systeminformationen ist für die Piloten ein Zeichen, dass alles in Ordnung ist.

⁶¹ Im Single Modus sind einige Systeme nicht mehr redundant vorhanden. Entscheidungshöhe und Pistensichtweite bei automatischen Landungen müssen daher aus Sicherheitsgründen erhöht werden.

Das geht soweit, dass während der verschiedenen Flugphasen⁶² (davon sind insgesamt zehn definiert) alle Warnungen im Blickfeld der Flugzeugführer unterdrückt werden, die für die entsprechende Flugphase ohne Belang sind und deren Darstellung nur stören würde. So werden z.B. beim Startvorgang, wenn das Flugzeug schneller als 80 Knoten (148 Kilometer pro Stunde) ist, nur Feuerwarnungen zusätzlich angezeigt.



Abbildung 15: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 5: Durch erneuten Druck auf den Clear Button erscheint auf dem Systemdisplay die Status Seite (STATUS). (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Die vorhandene Redundanz der Systeme ermöglicht das Abschalten – in der zuvor beschriebenen Weise – und weiterfliegen. Eine längere Fehlersuche während des Fluges soll damit vermieden werden. Schließlich ist gerade im Fehlerfall die Hauptaufgabe der Piloten, das Flugzeug sicher zum nächsten Flughafen zu steuern.⁶³

2.3.1 Übersicht über den Systemaufbau

Aus Gründen der Sicherheit sind alle Hauptrechner des Systems mindestens doppelt vorhanden, damit bei Ausfall eines Computers noch immer alle kritischen

⁶² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.20 P 3.

⁶³ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 44-45.

Funktionen weiter zur Verfügung stehen. Sollte das gesamte System ausfallen gehen zwar die Informationen auf den Bildschirmen verloren, es sind aber immer noch in den Druckschaltern die Fehlermeldungen bzw. ON oder OFF Anzeigen unabhängig von ECAM funktionsfähig. Das ECAM System besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- zwei System Data Acquisition Concentrator (SDAC) – Sie empfangen analoge und diskrete Eingangssignale und leiten diese an die entsprechenden Computer weiter. Hinweise und Warnungen werden an die Flight Warning Computer, Systemkonditionen an die Display Management Computer weitergeleitet,
- zwei Flight Warning Computer (FWC) – Sie empfangen von den verschiedenen Flugzeugsystemen Daten, die sie verarbeiten, um die entsprechenden Warnungen, Checklisten und Statusmeldungen auszugeben,

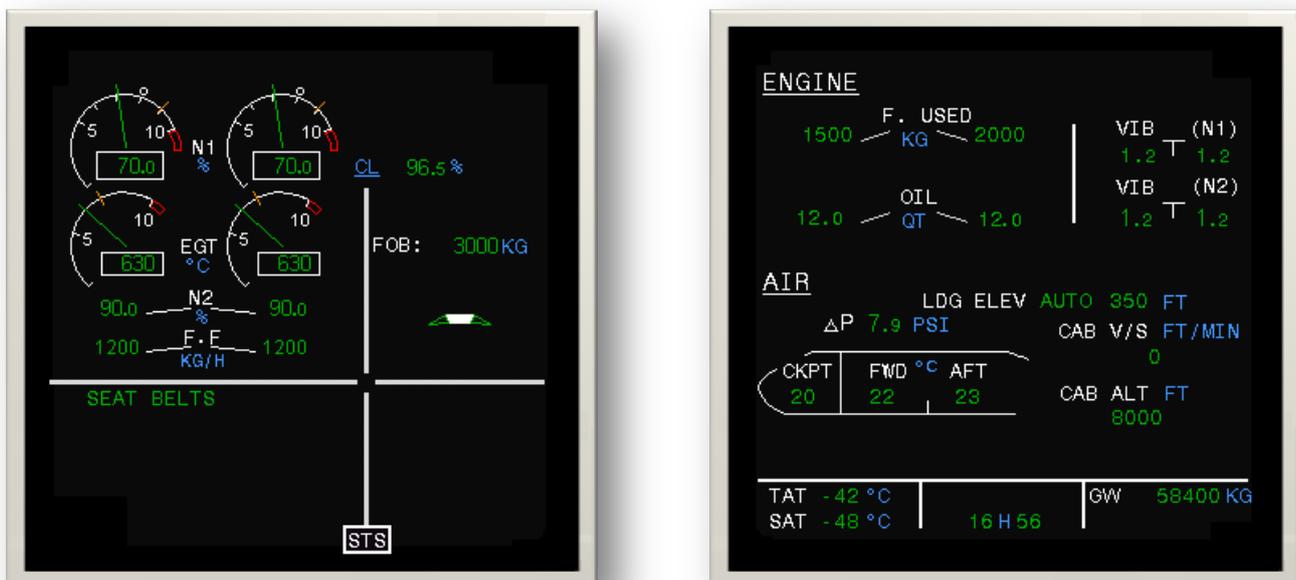


Abbildung 16: Fehler im Hydrauliksystem Schritt 6: Nach Abschluss der Störungsbehebung werden wieder die für die Flugphasen relevanten Seiten – in diesem Fall die CRUISE Seite – angezeigt. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

- drei Display Management Computer (DMC) – Sie sind für die Präsentation der Daten auf den insgesamt sechs Bildschirmen (Primary Flight Display 1 und 2, Navigation Display 1 und 2, ECAM Engine/Warning Display, ECAM System Display) verantwortlich,
- zwei Bildschirme am mittleren Instrumentenbrett (ECAM Engine/Warning Display, ECAM System Display),

- einer Bedienungseinheit im vorderen Teil der Konsole,
- den sogenannten „Attention Getters“: je eine Master Warning und Master Caution Lampe direkt im Blickfeld jedes Piloten sowie
- zwei Lautsprecher.⁶⁴

2.3.2 Prioritätsstufen der Warnungen/Hinweise

Die Warnungen bzw. Hinweise sind in fünf Stufen eingeteilt:

- Level 3: Diese Stufe hat die höchste Priorität und entspricht einer Notsituation, die ein sofortiges Eingreifen der Piloten erfordert. Die Warnung wird durch ein dauerndes akustisches Signal und zwei rot blinkende Master Warning (MASTER WARN) Lampen, die sich im Glareshield – direkt im Blickfeld der Piloten – befinden, angezeigt. Auf dem System Display wird automatisch das betroffene System dargestellt, Meldungen auf den Bildschirmen werden rot angezeigt.
- Level 2: Eine Störung, die nicht direkt die Flugsicherheit gefährdet und keine unmittelbare Aktion der Piloten erfordert, wird durch eine Level 2 Warnung angezeigt. Die Piloten können entscheiden wann sie eine entsprechende Aktion setzen. In diesem Fall blinken zwei orange Master Caution (MASTER CAUT) Lampen und einmalig ertönt ein synthetisches Gongsignal. Auf dem System Display wird automatisch das betroffene System dargestellt, Meldungen auf den Bildschirmen werden in Orange angezeigt.
- Level 1: Diese Stufe zeigt den Piloten an, dass sie ein bestimmtes System weiter genauer beobachten müssen, z.B. wenn durch einen Fehler die Redundanz eines Systems herabgesetzt wird. Es erscheint eine Meldung auf den Bildschirmen und eine entsprechende lokale Warnung, d.h. es leuchtet am Instrumentenbrett eine Warnlampe des betroffenen Systems auf. Auf dieser Stufe gibt es kein zusätzliches akustisches Signal.
- Advisory: Bestimmte System Parameter sollen beobachtet werden. Auf dem System Display wird das entsprechende System angezeigt, der zu beobachtende Parameter blinkt in Grün.
- Memo: Dabei handelt es sich nicht um eine Warnung, sondern lediglich um eine Information, die keine weiteren Aktionen erfordert.

Wenn mehrere Warnungen gleichzeitig auftreten, haben höhergestufte Warnungen Vorrang vor niedergestufteten.⁶⁵

⁶⁴ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.05 P 2 – 1.31.05 P 3.

⁶⁵ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.10 P 2 – 1.31.10 P 3.

2.3.3 Wartung

Das System wird auch zum Testen und zur Reparatur der verschiedenen Flugzeugsysteme bei der Wartung verwendet. Wurden in früherer Zeit beim Auftreten eines Fehlerfalles, aufgrund unzureichender Angaben über die Lokalität des nicht ordnungsgemäß funktionierenden Teils, wahllos System Einheiten ausgetauscht, ohne dabei den wirklichen Fehler zu beheben, so wird heutzutage durch das ECAM System eine genaue textuelle Beschreibung des fehlerhaften Teils und dessen Lokalität gegeben (Fault Monitoring), die eine höhere Aussagekraft als eine Anzeige durch Lämpchen bietet. Dadurch wird nicht nur die Wartung beschleunigt und für das Personal vereinfacht, sondern durch das zielstrebige Austauschen der richtigen Systemeinheiten wird das redundante Ersetzen von funktionierenden Einheiten verhindert und somit Geld gespart. Jede Systemeinheit besitzt hierfür ein eigenes Fehlerdiagnoseprogramm, das die exakte Lokalität des Fehlers an das ECAM System weiterleitet, welches wiederum diese Daten den Piloten beziehungsweise der Wartungsmannschaft zugänglich macht. Die Systemeinheiten selbst sind dazu befähigt, fehlerhafte Elemente abzuschalten. Dies muss jedoch vom Piloten durch Mitteilung über das ECAM System quittiert werden. Es ist jedoch ausgeschlossen, dass das System, sobald es einen auftretenden Fehler erkannt und lokalisiert hat, diesen auch selbstständig wieder behebt (ohne Rückmeldung an den Piloten) und so weiterarbeitet, als wäre nichts passiert. Zum Austausch von Systemeinheiten sei noch erwähnt, dass alle Teile nach einer vordefinierten Einsatzdauer automatisch ausgewechselt werden, um proaktiv die Fehlerwahrscheinlichkeit zu reduzieren.⁶⁶

2.4 Automatische Flugführung

Zum automatischen Flugmanagementsystem des Airbus A320 muss fast alles gezählt werden, was im Cockpit zusammenläuft und nicht zur Systembedienung gehört. Das sogenannte Flight Management and Guidance System (FMGS) besteht aus folgenden Einheiten:

- zwei Flight Management Guidance Computer (FMGC),
- zwei Multipurpose Control and Display Units (MCDU),
- eine Flight Control Unit (FCU) sowie
- zwei Flight Augmentation Computer (FAC) für die Steuerung von Ruder, Trimmung, etc.⁶⁷

⁶⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.45.10 P 1 – 1.45.20 P 9.

⁶⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 1.

Das Flight Management and Guidance System trifft Vorhersagen über die geplante Flugzeit, Entfernung zum Zielort, Fluggeschwindigkeit und Flughöhe. Darüber hinaus erstellt es – aufgrund der Eingabe des Start- und Zielflughafens durch den Piloten über die Multipurpose Control and Display Unit – ein optimales vertikales (Steig- und Sinkflug) sowie horizontales (Streckenflug) Flugprofil. Gleichzeitig werden aus der umfangreichen Navigationsdatenbank Abflugverfahren (Standard Instrument Departure, SID), Weg- und Kontrollpunkte auf der Flugstrecke, Anflugverfahren am Zielflughafen (Standard Instrument Arrival, STAR) sowie alternative Routen, Verfahren für einen Landeabbruch (missed approach) und Ausweichflughäfen ergänzt. Der Pilot hat jederzeit die Möglichkeit manuell einzugreifen und kann diverse Parameter, wie z.B. Wegpunkte, Geschwindigkeit, Steig-, Sinkrate oder Kurs, auch kurzfristig ändern.⁶⁸

Jeder Flight Management Guidance Computer ist in zwei Bereiche unterteilt.

Das Flugmanagement (Flight Management, FM) kontrolliert die folgenden Funktionen:

- Navigation und Management der Navigationsinstrumente auf der Flugstrecke,
- Durchführung der Flugplanung,
- Vorhersage und Optimierung der Performance sowie
- Aufbereitung der Grafiken auf den Bildschirmen im Cockpit.

Die Flugführung (Flight Guidance, FG) führt folgende Funktionen aus:

- Steuerung des Autopiloten (Auto Pilot, AP),
- Steuerung des Flight Director (FD) sowie
- Steuerung des automatischen Schubs für den Vortrieb (Auto Thrust, A/THR).⁶⁹

Zur Lösung taktischer Aufgaben kann der Flugzeugführer dem Autopiloten über die Flight Control Unit (ein Bediengerät im Glareshield, siehe Abbildung 17) Daten wie Fahrt/Machzahl (SPD, MACH), barometrische Höhe (ALT), Kompasskurs (HDG, TRK) und Vertikalgeschwindigkeit (V/S, FPA) vorgeben.⁷⁰ Zusammen mit dem Vortriebsregler (Auto Thrust) sorgt der Autopilot dafür, dass das Flugzeug das so vorgegebene Flugprofil exakt nachfliegt. Außerdem kann der Flugwegrechner auch direkt mit dem Autopiloten kommunizieren und ihm Vorgaben für das Abfliegen eines optimalen strategischen Flugpfades vorschlagen. Für ein Flugzeug

⁶⁸ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 1.

⁶⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 2.

⁷⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 17 – 1.22.10 P 23.

wie den Airbus A320 ist es selbstverständlich, dass es vollautomatische Landungen der Betriebsstufe III B – O Fuß Entscheidungshöhe; 75 Meter minimale Pisten-sichtweite – ausführen kann.



Abbildung 17: Flight Control Unit (FCU). (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Mehrere Sicherheitsnetze sorgen dafür, dass die Automatik das Flugzeug nicht in Gefahr bringt. Beispielsweise kann eine einmal vorgewählte und erfolgte Flughöhe nur dann verlassen werden, wenn der Flugzeugführer eine bestimmte neue Höhe vorwählt und dann durch Knopfdruck den Befehl zum Verlassen der alten Höhe erteilt.

Ein Flugzeug das zu schnell geflogen wird, wird überbeansprucht – ist es zu langsam, verliert es Auftrieb. Der Autopilot errechnet aus Fahrt und Anstellwinkel mit Hilfe einer einprogrammierten Tabelle für jede Höhe die obere und untere Grenzgeschwindigkeit, die vom Gewicht und der Höhe des Flugzeuges abhängen.⁷¹

2.4.1 Flight Management Guidance Computer (FMGC)

Der leistungsfähigste Rechner an Bord des Airbus A320 ist der Flugwegrechner (FMGC). Er ist zweifach vorhanden und kann in seiner Datenbank bis zu 400.000 Datenelemente speichern. Der Flight Guidance Teil basiert, je nach Alter des Gerätes, zumindest auf drei Intel 80C286 Prozessoren, der Flight Management Teil auf einen Intel 80186 und zwei SDP185. Die Daten selbst werden über einen 16 Bit Datenbus übertragen.

⁷¹ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 45.

Im FMGC sind nicht nur sämtliche Leistungsdaten des Airbus, sondern auch der Karteninhalt für sein gesamtes Einsatzgebiet gespeichert. Dazu gehören unter anderem die kompletten Informationen über Flughäfen wie z.B. Pistenausrichtung und -länge, Funkfrequenzen für Sprechfunk und Radionavigationshilfen, An- und Abflugverfahren sowie Luftstraßen, Wegpunkte, Flugbeschränkungen, Ausweichflughäfen, Richtlinie zum Treibstoffverbrauch des Unternehmens und vieles mehr. Insgesamt sind es über 16.000 Einzelposten, von denen sich jeden Tag einige ändern. Zu bestimmten Stichtagen, die jeweils 28 Tage auseinander liegen, werden die Daten gesammelt eingespielt.⁷² Das Einspielen der Daten dauert 20 Minuten und kann über eine Crossload Funktion auf beiden Computern parallel durch einen Wartungstechniker erfolgen.⁷³

Der Flugwegrechner erstellt den aktuellen Flugplan optimiert nach den jeweils herrschenden Gegebenheiten. Als Input benötigt er lediglich Ausgangswerte wie Streckenführung (Start-/Zielflughafen), Wetter und Abfluggewicht. Alle weiteren Informationen liest der Rechner aus seinem Datenspeicher aus. Der Flight Management Guidance Computer berechnet zusätzlich den voraussichtlichen Treibstoffverbrauch sowie die zum Erreichen des nächstmöglichen Ausweichflughafens notwendigen Reserven.

Der Computer setzt die Flugstrecke aus einzelnen Wegpunkten zusammen und schlägt die für eine ökonomische Flugdurchführung optimale Reiseflughöhe mit den günstigsten Geschwindigkeiten für Steig-, Reise- und Sinkflug vor. Der Airbus hält somit nach dem Start mit automatischer Triebwerksregelung den bestmöglichen Steigwinkel ein, geht in der vorgewählten Höhe automatisch in den Reiseflug über und fliegt danach alle gespeicherten Funkfeuer der programmierten Route genau ab. Der Computer errechnet auch den optimalen Zeitpunkt, zu dem die Maschine in den Sinkflug übergehen soll und regelt den Triebwerksschub so, dass der Verbrauch am geringsten ist. Ohne Eingreifen des Piloten werden dabei Geschwindigkeits- und Höhenbeschränkungen im Flughafenbereich eingehalten und im Endanflug der nahtlose Übergang zur automatischen Landung eingeleitet.⁷⁴

Auf den Bildschirmen der Bedieneinheit (MCDU) kann der Pilot jederzeit den Flugplan verifizieren. Für jeden Wegpunkt erfährt er die Zeit, die er nach dem Abheben bis zu dessen Erreichen benötigt, sowie die voraussichtliche Geschwindigkeit und Höhe des Flugzeuges beim Überflug.

⁷² Vgl. Müller, Peter (1987), S. 148.

⁷³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 2.

⁷⁴ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3425.

Damit der Flugwegrechner überhaupt die Navigation übernehmen kann, muss er zunächst einmal wissen, wo er sich gerade befindet. Die notwendigen Informationen liefert ihm die Navigationsausrüstung, vor allem der Trägheitssensor (Inertial Reference System, IRS). Dem hat der FMGC zuvor die geographische Breite und Länge des Standortes mitgeteilt. Nachdem er sich danach im sogenannten Alignment eingestellt hat, koppelt er ständig den Flugweg mit. Sofern sich das Flugzeug in Empfangsreichweite von Radionavigationshilfen befindet (Entfernungsmessgerät DME und gerichtetes Funkfeuer VOR) – und das ist in Europa über Land fast immer der Fall – nimmt der FMGC diese Daten zur Korrektur der aktuellen Trägheitsposition.⁷⁵

Selten kann ein einmal aufgestellter Flugplan auch ungestört abgeflogen werden. Anpassungen können sich z.B. durch Änderungen der Windrichtung im Flughafennahbereich oder einer kurzfristigen Überlastung auf Flugstraßen ergeben. Solche Adaptierungen müssen dem FMGS schnell und unkompliziert mitgeteilt werden können. Dabei kommt es, wie das folgende Beispiel zeigt, vor allem auf eine besonders gute Anpassung der Technik an den Menschen an.

2.4.2 Multipurpose Control and Display Unit (MCDU)

Die Bedienungseinheit des Flight Management and Guidance Systems, die sogenannte Multipurpose Control and Display Unit (MCDU), besteht aus einem alphanumerischen Tastenfeld, diversen Funktionstasten und einem Anzeigefeld (Kathodenstrahlröhre) mit je sechs Zeilen Wahlschaltern auf beiden Seiten (vgl. Abbildung 18). Werden für den Betrieb Eingabedaten benötigt, so fragt sie der Computer in der Sprache der Piloten – so wie sie auch bei der Flugvorbereitung im Cockpit anfallen – ab.^{76, 77}

Buchstaben und Ziffern, die durch die Piloten eingegeben werden, erscheinen zunächst in der untersten – mit keinem Wahlschalter versehenen – Zeile des Anzeigefeldes (Scratchpad). Nach dem Verifizieren der Eingabe werden die Daten durch Druck auf den entsprechenden Zeilen-Wahlschalter in das vorgesehene Eingabefeld übernommen. Bei einer Fehlbedienung erscheinen Warnungen oder zusätzliche Fragen.

Außerplanmäßige bzw. taktische Änderungen des Flugplanes können an jedem Wegpunkt der Strecke vorgenommen werden. Soll der Flugweg in der Horizon-

⁷⁵ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 46-47.

⁷⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 10 – 1.22.10 P 16.

⁷⁷ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 71-86.

talen geändert werden, wird der Wahlschalter links, soll das vertikale Profil geändert werden, wird der Wahlschalter rechts neben den Wegpunkt gedrückt. Im Anzeigefeld erscheint automatisch die komplette Auswahl aller an diesem Punkt möglichen Änderungen.⁷⁸

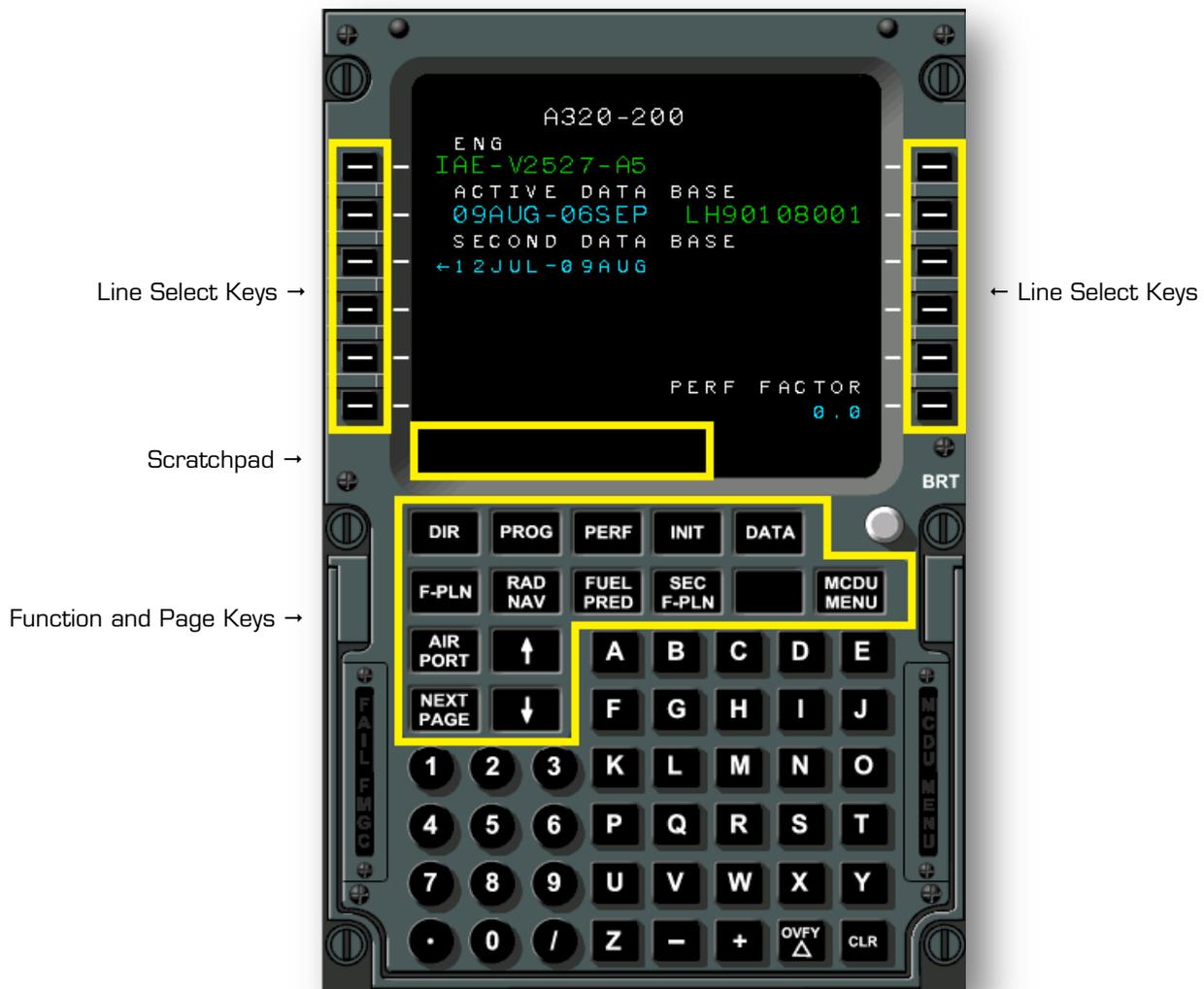


Abbildung 18: Multipurpose Control and Display Unit (MCDU). (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Am Beispiel eines Fluges von Wien nach Frankfurt soll die Bedienungsweise des FMGS konkreter demonstriert werden.⁷⁹

⁷⁸ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 47-48.

⁷⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002b), S. 4.05.05 P 1 – 4.05.15 P 2.

Nachdem im Cockpit der Strom eingeschalten wurde, zeigen die FMGS Bedienelemente die Status Seite (siehe Abbildung 18) auf der der Pilot überprüfen kann, ob die gültige Datenbasis geladen ist.⁸⁰ Danach drückt er auf die Taste `INIT` (Initialization), um die Eingabemaske für die Flugstreckenplanung auf dem Bildschirm anzuzeigen (siehe Abbildung 19, links). In die Kästchen müssen die entsprechenden Daten eingegeben werden: entweder links die Nummer für die Streckenführung (`CO RTE`, Company Route) und die Flugnummer (`FLT NBR`, Flight Number) oder rechts die internationalen Abkürzungen für Wien/Schwechat (`LOWW`) und Frankfurt/Main (`EDDF`).



Abbildung 19: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 1 und 2) – Vorbereitungen für einen Flug von Wien (`LOWW`) nach Frankfurt (`EDDF`). Schritt 1 (links): Der Flugzeugführer hat über die Tastatur in die unterste Zeile (Scratchpad) der Eingabemaske `INIT` (Initialization) den Start- und Zielflughafen (`LOWW/EDDF`) eingegeben. Schritt 2 (rechts): Nach Druck auf den rechten oberen Zeilenwahlschalter füllt der Flugwegrechner die Maske mit allen Daten aus, die er unter dieser Flugstrecke in der Datenbasis gefunden hat. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

⁸⁰ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 100-101.

Der Pilot entscheidet sich für die Eingabe des Start- und Zielflughafens und gibt sie in das Scratchpad, also der untersten Zeile, ein. Anschließend drückt er rechts oben den Zeilenwahlschalter, um die Daten (LOWW/EDDF) in die erste Zeile zu übernehmen. Das FMGS füllt die Maske mit allen Daten – die es unter dieser Flugstrecke in der Datenbasis gefunden hat (siehe Abbildung 19 rechts).



Abbildung 20: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 3 und 4) – Schritt 3 (links): Der Anfang des unter der Strecke VIEFRA1 geführten Flugplanes ist über die Taste F-PLN abgerufen worden. Da noch keine Startbahn ausgewählt wurde, drückt der Pilot auf den Zeilenwahlschalter links neben LOWW. Schritt 4 (rechts): Es erscheint die Auswahl mit den horizontalen Revisionsmöglichkeiten an diesem Punkt. Unter dem Menüpunkt DEPARTURE sind alle Startbahnrichtungen und Abflugrouten gespeichert. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Die geographischen Koordinaten des Flughafens von Wien/Schwechat sind 48 Grad 6,6 Minuten Nord (4806.6N) und 16 Grad 34,2 Minuten Ost (01634.2E).

Der Computer gestattet auch die Eingabe eines Kostenindex (COST INDEX): Es handelt sich hierbei um eine von der Fluggesellschaft berechneten Größe, die den

Treibstoffverbrauch gegen die Flugzeit – und somit die Lohnkosten der Besatzung – abwägt. Ist der Flugzeugtreibstoff beispielsweise gerade billig, so wird der Computer die Fluggeschwindigkeit erhöhen, um die Flugzeit und folglich die Arbeitszeit von Piloten sowie übriger Besatzung zu reduzieren.⁸¹ Ein Kostenindex = 0 bedeutet, dass mit minimalem Treibstoffverbrauch geflogen wird (maximale Reichweite), ein Kostenindex = 999 führt zu einer minimalen Flugzeit.⁸²



Abbildung 21: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 5 und 6) – Schritt 5 (links): Nach Druck auf den Schalter neben DEPARTURE erscheinen die Startbahnrichtungen zur Auswahl. Ein Druck auf den Schalter neben 29 transferiert diese Zahl in die erste Reihe. Schritt 6 (rechts): Analog wird das benötigte Abflugverfahren LUGI2C (Standard Instrument Departure, SID) ausgewählt und in die erste Reihe übernommen. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Der Text ALIGN IRS fordert die Besatzung auf, den Ausrichtevorgang seines Navigations- und Lagesystems (Inertial Reference System, IRS) einzuleiten. Durch

⁸¹ Vgl. Stix, Gary (1991): Computer-Piloten. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft September 9/1991. S. 73.

⁸² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.20 P 24.

Druck auf den zugehörigen Zeilenwahlschalter wird der Vorgang gestartet – die Aufforderung erlischt. Auf die übrigen Daten sollen hier nicht weiter eingegangen werden.⁸³



Abbildung 22: FMGS – Eingabe der Flugstrecke (Schritte 7 und 8) – Schritt 7 (links): Die Änderungen werden durch Druck auf den Schalter neben *INSERT* aktiviert. Schritt 8 (rechts): Das richtige Abflugverfahren von der Startbahn *LOWW29* ist jetzt eingegeben. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Über die Taste *F-PLN* (Flight Plan) kann der Anfang des unter der Streckennummer *VIEFRA1* geführten Flugplanes abgerufen werden (siehe Abbildung 20 links): Der Startflughafen heißt *LOWW* (Wien/Schwechat). Darunter stehen die ersten Wegpunkte der vorgeschriebenen Abflugroute (*LUGIN*, *LNZ*). In der zweiten Spalte erscheinen die Zeiten in Minuten, die bis zum Erreichen der Wegpunkte vergehen; in der dritten Spalte ist die Geschwindigkeit in Knoten und in der vierten die barometrische Höhe des Flugzeuges an diesem Punkt angegeben (*FL252* steht für Flight Level 252, d.h. Flughöhe 25.200 Fuß oder 7.681 Meter).

⁸³ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 102-108.

Der Flughafen Wien/Schwechat (FROM LOWW) liegt 600 Fuß (ALT 600) – 182,88 Meter – über dem Meeresspiegel. Die Flugzeit zum Zielflughafen Frankfurt/Main (DEST EDDF) beträgt 56 Minuten (TIME 0056), die Distanz 345 Nautische Meilen (DIST 345) – 639 Kilometer. Die erwartete Treibstoffmenge an Bord bei der Landung beträgt 5,6 Tonnen (EFOB 5.6).⁸⁴

Nachdem im Flugplan noch keine Startbahn ausgewählt wurde, muss sie der Flugzeugführer über das Menü der Bedieneinheit auswählen. Er drückt dazu auf den Zeilenwahlschalter links neben LOWW und ruft damit die Menükarte der horizontalen Revisionsmöglichkeiten (siehe Abbildung 20 rechts) für diesen Punkt auf: LAT REV FROM LOWW (Lateral Revision from Wien/Schwechat).

Aus den vorhandenen Möglichkeiten wählt er DEPARTURES. Unter dieser Überschrift findet der Flugzeugführer alle Startbahnrichtungen und alle Abflugrouten des entsprechenden Flughafens vor. Es erscheint nachfolgend: DEPARTURES FROM LOWW (siehe Abbildung 21 links). Der Flughafen Wien/Schwechat besitzt zwei Start- und Landebahnen mit vier möglichen Startrichtungen: 11 (Kurs 114 Grad auf der Kompassrose), 16 (Kurs 162 Grad), 29 (Kurs 294 Grad), 34 (Kurs 342 Grad). Die Länge der Start- und Landebahn 11/29 beträgt 3.500 Meter (3500M), die Piste 16/34 ist 3.600 Meter lang (3600M).⁸⁵

Durch Druck auf den Zeilenwahlschalter links neben 29 transferiert der Pilot diese Zahl in die erste Reihe zum Zeichen dafür, dass das jetzt die gewählte Startbahnrichtung ist. In weiterer Folge muss noch das standardisierte Abflugverfahren ausgewählt werden (siehe Abbildung 21 rechts). Das neue Abflugverfahren LUGI2C (Standard Instrument Departure, SID) wird dabei analog programmiert (siehe Abbildung 22 links). Ein weiterer Tastendruck rechts neben INSERT aktiviert die Startbahnrichtung und das neue Abflugverfahren. Die Anzeige auf dem Bildschirm wechselt automatisch auf die Flugplanseite zurück.⁸⁶ Das richtige Abflugverfahren ist nun eingegeben (siehe Abbildung 22 rechts).⁸⁷

2.4.3 Digitale Fluginstrumente

Das elektronische Fluginstrumentensystem (Electronic Flight Instrument System, EFIS) besteht aus jeweils zwei nebeneinanderliegenden 6 x 6 Zoll (15,24 x 15,24 cm) großen Bildschirmen auf der Kapitäns- und der Kopilotenseite des Hauptin-

⁸⁴ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 113-120.

⁸⁵ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 138-139.

⁸⁶ Vgl. Thales Avionics (Hrsg.) (2004), S. 140-141.

⁸⁷ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 48.

strumentenbrettes. Angesprochen werden sie von drei Symbolgeneratoren (Display Management Computer, DMC), von denen jeder ein Paar der Bildschirme versorgen kann. Der dritte steht als Reserve in Wartestellung für den Fall, dass einer der beiden anderen ausfällt. Die Symbolgeneratoren produzieren Satz, Grafik und Layout und geben die beiden jeweils fertigen Seiten an die Displays weiter.⁸⁸

Bei den Display Management Computern handelt es sich um Multiprozessorsysteme mit je sechs Mikroprozessoren Motorola 68 000, die in der Programmiersprache PASCAL programmiert worden sind. Sie haben einen Leistungsverbrauch von 100 Watt, verarbeiten die Daten von ca. 60 Datenbussen und haben drei austauschbare Speichermodule mit einer Kapazität von bis zu 4 MByte.⁸⁹

An die Ablesbarkeit der Monitore wurden hohe Anforderungen gestellt. Es dürfen keine einzelnen Bildpunkte und kein Flimmern erkennbar sein. Auch bei einer direkten Sonneneinstrahlung soll der Bildschirm ein kontrastreiches Bild liefern, der subjektive Eindruck der verschiedenen Farben muss im gesamten Helligkeitsregelbereich von extrem hell bis fast unsichtbar dunkel immer der gleiche bleiben, unabhängig vom jeweiligen Farbhintergrund.

Die Lochmaske der verwendeten Kathodenstrahlröhren hat einen Lochabstand von 0,3 Millimeter, als Bildwiederholungsrate wurden 70 Hertz festgelegt. Ein optischer Filter verhindert Lichtreflexionen auf der Bildschirmoberfläche und erzeugt ausreichenden Bildkontrast auch bei Sonnenlicht.⁹⁰ Das Bild wird nicht wie bei alten CRT Fernsehern Zeile für Zeile aufgebaut, vielmehr lässt sich der Elektronenstrahl durch Anlegen von beliebig verlaufenden Ansteuerspannungen in X- und Y-Richtung frei bewegen. Bei dieser sogenannten Stroker Schreibweise wird mit dem Strahl nur noch das gezeichnet, was augenblicklich auf dem Display sichtbar sein soll. Diese Methode führt zwar zu einer niedrigeren Schreibgeschwindigkeit des Strahles im Vergleich zur Zeilenabtastung des Fernsehbildschirms, erzeugt aber ein Bild mit höherer Intensität (Brillanz und Leuchtdichte) in der Darstellung. Alle beliebig geformten Linien werden dadurch unterbrechungsfrei gezeichnet, eine Zeilenstruktur gibt es nicht. Auch bei Flächen wird zeilenfrei gearbeitet: Der Strahl wird vertikal in Mäanderform bewegt und dabei

⁸⁸ Vgl. Burgner, Norbert (1997): Space Age: Der revolutionärste Airliner. In: Flug Revue. September 1997. S. 44.

⁸⁹ Vgl. Flume, Wolfgang (1991): Ins Glas geschaut: Moderne Cockpit-Displays erhöhen Übersichtlichkeit. In: Flug Revue. Heft 5, Mai 1991. S. 69-70.

⁹⁰ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 49.

zusätzlich defokussiert, sodass die Linienstruktur verwischt und die Fläche eine einheitliche, musterfreie Farbe bekommt.⁹¹

Der innere Bildschirm auf jeder Pilotenseite ist das Navigationsdisplay (Navigation Display, ND) und zeigt die eigentliche Kartendarstellung (siehe Abbildung 24). Dem Flugzeugführer wird je nach Wunsch entweder ein 90 Grad weiter Sektor des vor ihm liegenden Gebietes (siehe Abbildung 23 Drehschalter auf Position ARC oder PLAN) oder eine Kompassrose (Drehschalter auf ROSE ILS, ROSE VOR, ROSE NAV) angezeigt. Je nach Situation kann er die Abbildungsmaßstäbe zwischen 10 und 320 Nautischen Meilen (rund 18,5 bis 593 Kilometer) in sich verdoppelnden Stufen wählen (siehe Abbildung 23 Drehschalter auf Position 10, 20, 40, 80, 160, 320).⁹² Die maximale Grenze des Darstellungsbereiches ist durch einen Ausschnitt aus der Kompassrose begrenzt. Das Symbol für die aktuelle Flugrichtung des Flugzeuges ist immer im oberen Bereich des Bildschirmes (gelber dicker Strich auf der sich im Kurvenflug drehenden Kompassrose) dargestellt. Das Symbol für den Ort des Flugzeuges befindet sich im unteren Teil (gelbes stilisiertes Flugzeug), wobei die Längsachse stets in Richtung des augenblicklichen Flugweges zeigt. Drei Entfernungsringe teilen den Darstellungsbereich in vier äquidistante Sektoren.⁹³



Abbildung 23: EFIS Control Panel – Steuerungseinheit für das Primärflug- und Navigationsdisplay.

(Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Links oben wird die vom Trägheitssensor gemessene Geschwindigkeit über Grund (Ground Speed, GS) sowie die vom Luftdatenrechner ermittelte wahre Luftgeschwindigkeit (True Air Speed, TAS) angezeigt. Der Unterschied ergibt die Windkomponente in Flugrichtung. Der augenblicklich herrschende Wind nach Richtung

⁹¹ Vgl. Flume, Wolfgang (1991): Ins Glas geschaut: Moderne Cockpit-Displays erhöhen Übersichtlichkeit. In: Flug Revue. Heft 5, Mai 1991. S. 67.

⁹² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.50 P 1 – 1.31.50 P 2.

⁹³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.45 P 1 – 1.31.45 P 22.

und Stärke (zum Beispiel aus 90 Grad mit 4 Knoten, 090/4) wird darunter dargestellt. Der grüne Pfeil gibt bildlich die Windrichtung an. Maßstäblich in das Display eingezeichnet sind die Wegpunkte des vom FMGS errechneten Flugplanes sowie der Flugweg.



Abbildung 24: Navigation Display (ND) – Das Navigationsdisplay zeigt einen Kartenausschnitt an. Position und Flugrichtung sind im unteren Teil mit einem gelben stilisierten Flugzeug angezeigt. Die augenblickliche Flugrichtung auf das Funkfeuer LUGIN beträgt 264 Grad, die Entfernung 3,3 Nautische Meilen [LUGIN 264° 3.3NM]. Die Geschwindigkeit über Grund wurde mit 277 Knoten [GS277], die wahre Luftgeschwindigkeit mit 279 Knoten [TAS279] gemessen. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Das Flugzeug ist in Wien gestartet und befindet sich im Steigflug. Der nächste Wegpunkt heißt LUGIN und befindet sich in Richtung 264 Grad, 3,3 Nautische Meilen von der aktuellen Position [LUGIN 264°, 3.3NM]. Bei gleichbleibender Geschwindigkeit und Flugrichtung wird der Wegpunkt um 13:02 Uhr überflogen. Die weitere Flugroute führt über LINZ (VOR Linz), SUBEN (Wegpunkt N48 26.2, E013 20.0), ABABI (Wegpunkt N48 32.3, E012 56.9), AKINI (Wegpunkt N48 45.0, E012 07.5) weiter Richtung Frankfurt. Ebenfalls eingezeichnet sind nahegelegene Flughäfen wie z.B. LOWG [Graz], LOWK [Klagenfurt], LOWS [Salzburg], LOWL [Linz] und EDDM [München].

Das Navigationsdisplay bietet neben dieser konkreten Darstellungsweise auch noch einen weiteren Vorteil: Die Information des Bordwetterradars kann maßstabsgerecht in das Kartenbild eingeblendet werden.

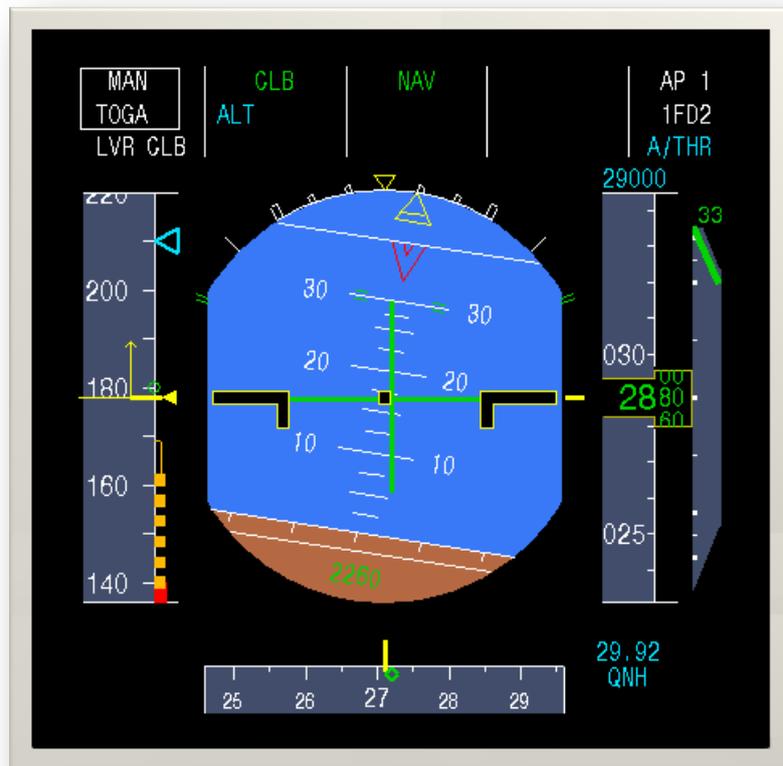


Abbildung 25: Primary Flight Display (PFD) – Im Primärflugdisplay gruppieren sich um das gewohnte Bild des künstlichen Horizonts die wichtigsten Informationen für die Flugführung. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Der äußere Bildschirm auf jeder Seite stellt das Primäre Flugdisplay (Primary Flight Display, PFD) dar. Hier sind die für die Flugführung wichtigsten Parameter zusammengefasst (siehe Abbildung 25). Den größten Raum nimmt in der Mitte der künstliche Horizont ein, der sich in der Gestaltung kaum von seinen mechanischen Pendanten unterscheidet. Unmittelbar rechts daneben werden Abweichungen vom vorgegebenen Vertikalprofil angezeigt, darunter Abweichungen in der Horizontalen zur Landerichtung bei Anflügen mit dem Instrumentenlandesystem.⁹⁴

⁹⁴ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.40 P 1 – 1.31.40 P 29.

Oberhalb des künstlichen Horizonts befinden sich die Betriebsartenanzeigen für das automatische Flugregelungssystem (Flight Mode Annunciator, FMA). Der Vortriebsregler steht in der Position TOGA (Take-Off/Go-Around), das Flugzeug befindet sich im Steigflug (Climb, CLB). Die zu erreichende Flughöhe wurde über die Flight Control Unit vorselektiert (Altitude, ALT) und beträgt 29.000 Fuß (29000). Die Flugkommandoanlage Nummer 1 und Nummer 2 (Flight Director No. 1 and No. 2, 1FD2) und der Autopilot Nummer 1 (AP1) sind in Betrieb. Die Leistung der Triebwerke wird durch den Computer (Auto Thrust, A/THR) geregelt.

Auf der linken Seite befinden sich die Geschwindigkeitsinformationen. Die Skala umfasst immer einen Bereich von 80 Knoten (rund 148 Kilometer pro Stunde). Sie bewegt sich an dem feststehenden gelben Dreieck vorbei, das die augenblicklich anliegende Fahrt markiert. Ist die Fahrt beschleunigt, so wächst aus dem das Dreieck verlängernden gelben Strich ein Pfeil in Richtung abnehmender oder zunehmender Fahrt und zeigt mit seiner Spitze genau auf den Wert, der bei gleichbleibender Beschleunigung in den nächsten zehn Sekunden erreicht sein wird. Das blaue Dreieck markiert die durch den Piloten vorselektierte Geschwindigkeit. Die von den Flugrechtern ermittelten Grenzwerte für die Fahrt, die je nach Flugzeugkonfiguration (Klappen/Fahrwerk ein- oder ausgefahren) und Gewicht verschieden sind, erscheinen mit der Skala im Bild und geben so dem Flugzeugführer klare Auskunft darüber, in welchem Fahrtbereich er sich ungefährdet bewegen kann. In der augenblicklichen Konfiguration darf eine Fahrt von 169 Knoten nicht unterschritten werden.

Nach dem Start und im Anflug zeigen die Symbole *s* (Slat Retraction Speed) und *F* (Flap Retraction Speed) genau an, wann die Landeklappen ein- bzw. ausgefahren werden können.⁹⁵

Im unteren Bereich wurde noch ein Kompass, im rechten Teil ein Höhenmesser und ein Vertikalgeschwindigkeitsmesser integriert. Der barometrische Höhenmesser (rechts) zeigt eine Höhe von 2.880 Fuß (877 Meter) über Grund an, der genauere Radiohöhenmesser – dieser kommt nur bis zu einer Flughöhe von 2.500 Fuß über Grund zum Einsatz – hat eine Höhe von 2.260 Fuß ermittelt.⁹⁶ Die augenblickliche Steiggeschwindigkeit beträgt derzeit 3.300 Fuß pro Minute (rechts außen).

⁹⁵ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 50.

⁹⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.31.40 P 13.

2.5 Fly-by-wire und Sidestick

Eine weitere technische Neuerung im Airbus A320 stellte die Fly-by-wire Steuerung dar. Bei Fly-by-wire werden die Steuer- und Stellbefehle für Tragflächen, Höhen- und Seitenleitwerk nur mittels elektronischer Signale übertragen. Das mechanische Steuersystem, über das die Steuersignale aus dem Cockpit per Hebel, Schubstangen, Zahnräder, Steuergestänge, Seilzügen und Umlenkrollen bis zum eigentlichen Stellmotor an den Rudern liefern, entfällt. Abgelöst werden diese durch Signalverarbeitungscomputer, dünne Drähte und Signalwandler. Hydraulikzylinder an den Rudern und Klappen führen die Befehle der Piloten aus. Für den Hersteller bringt dies den Vorteil einer leichteren Bauweise – Airbus Industrie beziffert die Gewichtsreduktion mit 400 Kilogramm⁹⁷, der Fluggesellschaft vereinfacht es die Wartung, da die Fehlerquelle leichter aufzufinden und auszutauschen ist.⁹⁸

Die wesentliche Neuerung an der Fly-by-wire Technik ist aber nicht allein die elektrische Signalübertragung von den Steuerorganen im Cockpit zu den Rudern, sondern die Einbeziehung des Bordcomputersystems in die Flugsteuerung. Der Pilot steuert nicht mehr direkt das Flugzeug, sondern gibt nur noch Befehle an die Computer weiter. Weil dazu nur geringe Handbewegungen notwendig sind, genügt ein kleiner seitlicher Handgriff, der sogenannte Sidestick – die bisher üblichen Steuersäulen werden nicht mehr benötigt. Für den Kapitän sitzt dieser Mini-Steuerknüppel links an der Bordwand, für den Kopiloten rechts. Dieses System erlaubt Steuerungsvorgänge, die viel einfacher sind als bisher: Wenn der Pilot zum Beispiel eine Kurve fliegen möchte, so muss der Sidestick lediglich auf die entsprechende Seite ausgelenkt werden, ohne dass er dabei – wie bisher notwendig – gleichzeitig ziehen muss, um die Höhe zu halten. Auch bei einem plötzlichen Ausweichmanöver kann der Pilot sofort den Sidestick bis zum Anschlag durchziehen. Der Computer sorgt dafür, dass die Belastungen für das Flugzeug innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben und regelt automatisch den notwendigen Schub der Triebwerke.⁹⁹

Durch den Wegfall der herkömmlichen Steuersäulen im Cockpit, ist nun auch erstmals wieder die völlig ungehinderte Sicht auf das Instrumentenbrett möglich – die Displays können somit optimal im Blickfeld der Piloten platziert werden. An der Unterkante des Instrumentenbrettes konnte ein ausziehbares Tischchen in-

⁹⁷ Vgl. Müller, Peter (1987), S. 225.

⁹⁸ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1986): Europäischer Vorstoß – Die A320 steht kurz vor dem Erstflug. In: Flug Revue. Nr. 12, Dezember 1986. S. 49.

⁹⁹ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3427.

stalliert werden, auf dem die Flugzeugführer bei Bedarf Karten oder einen Laptop ausbreiten können.¹⁰⁰

Die Flugsicherheit wird auch durch die automatische Anstellwinkelbegrenzung der elektrischen Steuerung erhöht. Die Piloten können im Normalbetrieb (Normal Law) den Airbus A320 nicht mehr überziehen, da der Computer den Anstellwinkel des Flugzeuges, bei dem der Maximalauftrieb erreicht wird, kennt.¹⁰¹ Selbst wenn der Pilot den Sidestick ganz zurückzieht, bleibt das Flugzeug immer im sicheren Geschwindigkeitsbereich. Der Computer im Steuerungskreis korrigiert dabei nicht nur den Höhenruderausschlag, sondern er sorgt auch dafür, dass die Triebwerke auf eine entsprechend höhere Leistung gebracht werden.¹⁰²

Obwohl einige Piloten kritisieren, dass gegen die Computer kein Veto eingelegt werden kann, halten die Airbus Ingenieure entgegen, dass gerade diese Manövrierbegrenzung es den Piloten erlaube, rücksichtslos die Grenzen der Maschine auszureizen.¹⁰³

Beim Airbus A320 werden die Befehle für die Primärsteuerung und die gesamte Sekundärsteuerung wie Klappen, Vorflügel und Spoiler elektronisch übertragen. Als Backup existiert für den Notfall eine mechanische Steuerung für das Seitenruder und die Trimmung des Höhenleitwerks.¹⁰⁴ Diese Notsteuerung war ursprünglich nur dazu vorgesehen, nach einem höchst unwahrscheinlichen Gesamtausfall der Stromversorgung das Flugzeug so lange sicher in der Luft zu halten, bis die Computer neu gestartet werden konnten. Doch bei der Flugerprobung wurde eine Testmaschine ohne Zwischenfall nur mit dieser rein mechanischen Steuerung gelandet.¹⁰⁵ Airbus Industrie ist sich aber sicher, dass ein Gesamtversagen der Fly-by-wire Steuerung niemals (Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-9}) auftreten wird.¹⁰⁶

Der A320 ist mit zwei Elevator Aileron Computer (ELAC) – für Höhen- und Querruder Steuerung –, drei Spoiler Elevator Computer (SEC) – für Höhenruder und Spoiler Steuerung – und zwei Flight Augmentation Computer (FAC) für die Bewe-

¹⁰⁰ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3427.

¹⁰¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 1 – 1.27.20 P 8.

¹⁰² Vgl. Hauger, Michael (1992): Wie sicher sind die Computer des Airbus A320? In: P.M. Heft 7/1992. S. 9-10.

¹⁰³ Vgl. Stix, Gary (1991): Computer-Piloten. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft September 9/1991. S. 72.

¹⁰⁴ Vgl. Müller, Peter (1987), S. 225.

¹⁰⁵ Vgl. Hauger, Michael (1992): Wie sicher sind die Computer des Airbus A320? In: P.M. Heft 7/1992. S. 8.

¹⁰⁶ Vgl. Potocki de Montalk, Peter (1991): Computer Software in Aircraft. In: FAST – Airbus Technical Digest. Number 11, January 1991. S. 16-17.

gung des Seitenleitwerks – ausgerüstet.^{107, 108} ELAC und SEC enthalten je einen Kanal für die Höhenrudersteuerung und verfügen über hochentwickelte Eigenprüfeinrichtungen. Ein Computer reicht aus, um die Maschine – wenn auch mit eingeschränkter Steuerbarkeit – sicher zu landen. Falls beispielsweise ein ELAC vor dem Start und der zweite im Flug ausfällt, bleibt trotzdem die Höhenrudersteuerung erhalten. Es sind zwar die Querruder ausgefallen, deren Funktion wird aber uneingeschränkt von den Störklappen übernommen.¹⁰⁹

Damit sich ein und derselbe Konstruktionsfehler nicht unentdeckt in das ganze Computersystem einschleichen konnte, wurden ELAC und SEC völlig unabhängig voneinander von zwei unterschiedlichen Zulieferfirmen entwickelt: Thomson-CSF (heute Thales Group) liefert die Elevator Aileron Computer, die Firma SFENA (Société Française d'Equipements pour la Navigation Aérienne) die Spoiler Elevator Computer.¹¹⁰

Selbst die verwendeten Mikroprozessoren sind von unterschiedlicher Bauart:

- Der ELAC enthält drei Motorola 68 000 Prozessoren. Der Hauptprozessor empfängt die Signale der Piloten und leitet diese an die Aktoren (Servos) zum Bewegen der Steuerflächen weiter. Ein Prozessor kümmert sich um die Verarbeitung der Inputs/Outputs auf dem ARINC 429 Bus. Hierbei handelt es sich um einen Datenbus Standard für Verkehrsflugzeuge. Es wird zwischen einem Highspeed- und einem Lowspeed Bus unterschieden. Bei einem Highspeed Bus beträgt die maximale Datenübertragungsrate 100 KBit/s, bei Lowspeed zwischen 12 und 14,5 KBit/s. ARINC 429 „Digital Information Transfer System (DITS)“ wurde 1977 publiziert.¹¹¹ Der dritte Prozessor kümmert sich als Co-Prozessor um die Flugeigenschaften des Airbus A320.
- Der SEC enthält zwei Intel 80186 Prozessoren und einen Intel 8086. Auch hier empfängt der Hauptprozessor die Signale der Besatzung und leitet diese an die Steuerflächen weiter; zusätzlich kümmert sich dieser Prozessor um die Flugeigenschaften. Der zweite Prozessor verarbeitet den ARINC Datenbus, der Dritte (Intel 8086) kontrolliert die Servos.¹¹²

¹⁰⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.10 P 1 – 1.27.10 P 17.

¹⁰⁸ Vgl. Hopkins, Harry (1987): The state of the art – Flight-Test Airbus A320. In: Flight International. Volume 132, Number 4092, Week ending 12 December 1987. S. 23-27.

¹⁰⁹ Vgl. Lambert, Mark (1988): A320 mit elektrischer Flugsteuerung – Vor der Musterzulassung. In: Interavia. Heft 1/1988, Januar 1988. S. 72.

¹¹⁰ Vgl. Lambert, Mark (1988): A320 mit elektrischer Flugsteuerung – Vor der Musterzulassung. In: Interavia. Heft 1/1988, Januar 1988. S. 72.

¹¹¹ Vgl. Spitzer, Cary R. (Hrsg.) (2001), S. 43-58.

¹¹² Vgl. Mellor, Peter (1993): Report on visit to Airbus Industrie – 28-29th Jan. 1993.

Mehrfach abgesichert hat sich Airbus auch bei der Software: Die ELAC wurden von Thomson-CSF in Assembler, einer maschinennahen Sprache die den Computer mit hoher Geschwindigkeit rechnen lässt, die SEC von Aérospatiale (heute EADS) und Atelier Logiciel in Assembler und PASCAL programmiert.

Rund 800 Kilobyte umfassen die Programme der Primärcomputer, auf 300 Kilobyte bringen es die Programme der Sekundärrechner. Während beim A320 noch per Hand programmiert wurde, übernahmen bei der Software für den Airbus A340 bereits Großrechner diese diffizile Aufgabe. Die menschlichen Programmierer beschränkten sich auf die Aufgabenbeschreibung und den Entwurf der Software in Form von Flussdiagrammen.¹¹³

Nicht nur bei der Hard- und Software haben die Airbus Konstrukteure für Redundanz gesorgt, sondern auch bei den Daten- und Steuerleitungen, die alles miteinander verbinden. Rund 30 Kilometer hochisolierte und abgeschirmte Kabel wurden vom Cockpit bis zu den Tragflächen und den hinteren Leitwerken verlegt. Die Kabelstränge werden dabei mehrfach redundant im Boden und in der Decke geführt.¹¹⁴

2.6 Triebwerksüberwachung

Die Überwachung und Instandhaltung der Triebwerke gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Flugzeugtechniker. Lange Zeit wurde ein Strahltriebwerk als eine Einheit betrachtet und stets komplett ausgetauscht. Doch seine Bestandteile sind völlig unterschiedlichen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dementsprechend wurden die Triebwerke in Baugruppen unterteilt, die getrennt ausgewechselt und repariert wurden – allerdings weiterhin nach dem sogenannten Hard-Time Konzept, das nach einer fest definierten Laufzeit eine Überholung der jeweiligen Module mit anschließenden Testläufen des gesamten Triebwerkes vorsah. Des Weiteren beinhaltete dieses Triebwerksinstandhaltungskonzept eine periodische Überprüfung des Einbauzustandes durch Sichtkontrollen, interne Inspektionen und Prüfverfahren sowie aufwendige Funktionskontrollen und Standläufe.

Mittlerweile kann der mögliche Ausfall eines Triebwerkes durch einen Techniker des Wartungsbetriebes schon frühzeitig erkannt werden. Daten wie das Ansteigen der Abgastemperatur oder Abweichungen von Drehzahlen und Kraftstoff-

¹¹³ Vgl. Hauger, Michael (1992): Wie sicher sind die Computer des Airbus A320? In: P.M. Heft 7/1992. S. 8-9.

¹¹⁴ Vgl. Hauger, Michael (1992): Wie sicher sind die Computer des Airbus A320? In: P.M. Heft 7/1992. S. 9.

durchfluss vom Sollzustand kündigen einen Defekt an. In der Vergangenheit lasen die Flugingenieure in bestimmten Zeitabständen die Parameter von den Triebwerksüberwachungsinstrumenten ab, heute ermöglicht die Digitaltechnik eine Automatisierung der Datenaufzeichnung.¹¹⁵

Mit Einführung des Airbus A320 kam ein entsprechendes Überwachungsmodul für die Triebwerke – kurz ECU (Engine Control Unit) oder auch FADEC (Full Authority Digital Engine Control) genannt – zum Einsatz. Clou des Systems ist ein in der Mittelkonsole eingebauter Drucker, der alle vier Stunden ganz automatisch einen Papierstreifen mit den aktuellen Triebwerksdaten ausdruckt. Die entsprechenden Daten stammen von Überwachungsgeräten, die an jedem Triebwerk installiert sind und Wellendrehzahlen, Druck, Temperatur sowie Kraftstoffdurchfluss mit einer Genauigkeit messen, die auf den Instrumenten im Cockpit gar nicht mehr sinnvoll dargestellt werden können. Die Informationen über den Zustand der Triebwerke werden laufend am Boden ausgewertet. Dadurch können sich anbahnende Störungen frühzeitig erkannt werden, sodass Ausfälle während des Fluges kaum noch auftreten. Die Piloten können jederzeit, wenn sie vermuten eine Unregelmäßigkeit im Triebwerksverhalten entdeckt zu haben oder auch wenn eine ganz bestimmte Flug- und Leistungsphase außerhalb des normalen Rhythmus festgehalten werden soll, per Knopfdruck zusätzliche Ausdrücke aus dem Gerät abrufen.¹¹⁶

Auch die Umwelt profitiert von den neuen Überwachungsmethoden:

- Für viele Wartungstätigkeiten musste früher das Triebwerk einen aufwendigen Standlauf absolvieren bei dem rund 2.500 Liter Kerosin verbrannt worden sind.
- Das Auswuchten eines Fanrotors bei Vibrationen bedeutete mindestens vier Stunden Standzeit. Heute berechnet der Computer, wo ein Ausgleichsgewicht angebracht werden muss.
- Auch für die Feinjustierung der Leitschaufelverstellung im Hochdruckteil des Triebwerkes war früher ein Standlauf erforderlich bei dem 3.000 Liter Kerosin verbrannt wurden. Die Ausfallszeit des Fliegers betrug hierbei drei Stunden.

¹¹⁵ Vgl. Hauger, Michael (1991): Ferndiagnose beugt Überraschungen vor: Datenübertragung hilft, Überholungen zu planen. In: Flug Revue. Nr. 12, Dezember 1991. S. 84.

¹¹⁶ Vgl. Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Band 9, Heft 123. S. 3426-3427.

Durch Unterstützung der ECU sind diese Testläufe überflüssig geworden. Zusätzlich verringert die Nachjustierung den Kraftstoffverbrauch des einzelnen Triebwerkes um rund 4.000 Liter im Monat.¹¹⁷

2.7 Vergleiche mit anderen Verkehrsflugzeugen

Boeing begann mit der Boeing 757 (Erstflug am 19.02.1982) und der Boeing 767 (Erstflug am 26.09.1981) das Layout und die Bedienung seiner Cockpits zu standardisieren, um die sogenannte Cross Crew Qualification (CCQ) der Piloten zu erleichtern. Ziel war es, die Cockpits der Verkehrsflugzeuge zu vereinheitlichen, damit die Umschulungskosten und -zeiten von einem Flugzeugtyp auf den anderen für die Flugzeugführer so gering wie möglich gehalten werden konnten. Der Pilot einer Boeing 757 (Narrow-Body für Kurz- und Mittelstrecke) konnte sich nach einer kurzen Einschulung somit relativ leicht im Cockpit einer Boeing 767 (Wide-Body, Mittel- und Langstrecke) zurechtfinden.¹¹⁸

2.7.1 Airbus A340

Auch Airbus griff dieses Konzept auf. Für die Einschulung auf den 107-sitzigen Airbus A318 (Erstflug am 15.01.2002), den 124-sitzigen Airbus A319 (Erstflug am 25.08.1995), den 150-sitzigen Airbus A320 und den 185-sitzigen Airbus A321 (Erstflug am 11.03.1993) ist nur ein Type Rating¹¹⁹ vorgesehen. Und obwohl der 77 Tonnen (MTOW) schwere Airbus A320 mit seinen zwei Triebwerken auf der Kurz- und Mittelstrecke ein völlig anderes Einsatzspektrum hat, genügt lediglich eine Einweisung in die Unterschiede, um eine Cockpit Crew auf den 238 Tonnen (MTOW) schweren, mit 295 Sitzen ausgestatteten Airbus A330 (Erstflug am 02.11.1992) und den 271 Tonnen (MTOW) schweren, vierstrahligen und ebenfalls mit 295 Sitzen ausgestatteten Airbus A340 (Erstflug am 25.10.1991) – die vor allem die Langstrecke bedienen – umzuschulen.¹²⁰

Für das Type Rating eines der oben angeführten Flugzeuge sind 30 Schultage aufzuwenden. Bei einer Umschulung oder eines zusätzlichen Type Ratings reduziert sich aufgrund der gleichen Cockpit-Auslegung die Schulungszeit wie folgt:

¹¹⁷ Vgl. Hauger, Michael (1991): Ferndiagnose beugt Überraschungen vor: Datenübertragung hilft, Überholungen zu planen. In: Flug Revue. Nr. 12, Dezember 1991. S. 84-86.

¹¹⁸ Vgl. Ropelewski Robert (1994): Airbus A321 and A330: different but alike. In: Interavia. Volume 49, Heft January 1994. S. 51.

¹¹⁹ Ein Type Rating ist eine Musterberechtigung, die zum Führen eines bestimmten Luftfahrzeuges berechtigt.

¹²⁰ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1989a): Drei vom selben Stamm. In: Flug Revue. Nr. 7, Juli 1989. S. 93.

- Type Rating von A318/A319/A320/A321 auf A340: 13 Tage
- Type Rating von A318/A319/A320/A321 auf A330: 12 Tage
- Type Rating von A330/340 auf A318/A319/A320/A321: 12 Tage
- Type Rating von A330 auf A340: 4 Tage
- Type Rating von A340 auf A330: 2 Tage¹²¹

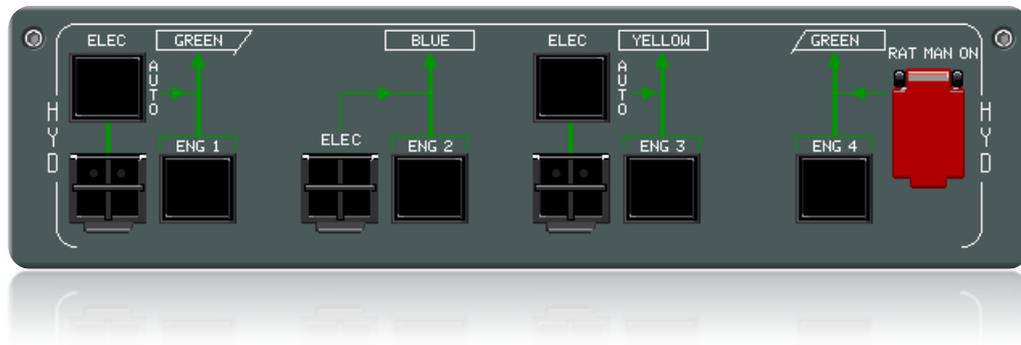


Abbildung 26: Hydraulikmodul im Overhead Panel des Airbus A340. (Quelle: Deutsche Lufthansa AG)

Bei der Planung der neuen Airbus Modelle wurde darauf geachtet, Risiken gering zu halten. Bei Cockpit Layout und Fly-by-Wire Steuerung wurde daher auf bewährte Systeme des Airbus A320 zurückgegriffen, wobei auf dem neuesten Stand der Technik weiterentwickelt wurde. Die guten Erfahrungen mit der Flugsteuerung des A320 bezüglich Zuverlässigkeit und Sicherheit ermöglichten eine Anpassung der Computerarchitektur.¹²² Beim Airbus A340 kommen drei Flight Control Primary Computer (FCPC) – diese entsprechen den Elevator Aileron Computer (ELAC) des Airbus A320 – und zwei Flight Control Secondary Computer (FCSC) – entsprechen den Spoiler Elevator Computer (SEC) – zum Einsatz.¹²³ Die FCPC basieren auf einer Intel 80386, die FCSC auf einer Intel 80186 Architektur.¹²⁴

Das Electronic Instruments System (EIS) besteht wie beim Airbus A320 aus sechs 6 x 6 Zoll großen Bildschirmen und drei Display Management Computern. Bei diesen Rechnern kommen allerdings leistungsfähigere RISC Mikroprozessoren Motorola 88 100 zum Einsatz die in der Hochsprache C programmiert wurden.¹²⁵

¹²¹ Vgl. Vadrot, Régine; Christian Aubry (1994): CCQ Cross Crew Qualification and mixed fleet flying. In: FAST – Airbus Technical Digest. Number 17, December 1997. S. 25.

¹²² Vgl. Hemker, Heinrich; Volker K. Thomalla (1991): Quadrophonie: Beim neuen Airbus A340 steckt der Fortschritt im Detail. In: Flug Revue. Nr. 10, Oktober 1991. S. 20-21.

¹²³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2001), S. 1.27.10 P 1 – 1.27.10 P 17.

¹²⁴ Vgl. Mellor, Peter (1993): Report on visit to Airbus Industrie – 28-29th Jan. 1993.

¹²⁵ Vgl. Flume, Wolfgang (1991): Ins Glas geschaut: Moderne Cockpit-Displays erhöhen Übersichtlichkeit. In: Flug Revue. Heft 5, Mai 1991. S. 70.

Auch beim elektronischen Überwachungssystem (ECAM) wurden lediglich die notwendigen Anpassungen für ein vierstrahliges Verkehrsflugzeug berücksichtigt. Auf dem Engine/Warning Display wird am Airbus A340 nun der Status der vier Triebwerke angezeigt (siehe Abbildung 27 links, vgl. Abbildung 10 links des Airbus A320).¹²⁶

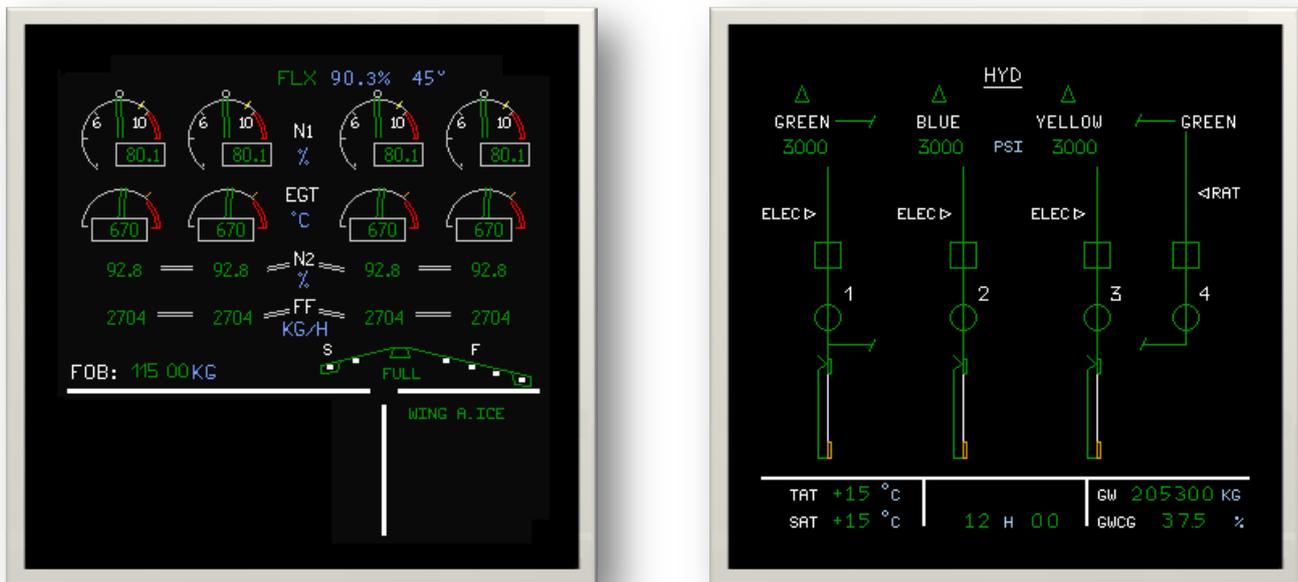


Abbildung 27: Engine/Warning- und System Display des Airbus A340. (Quelle: Deutsche Lufthansa AG)

Vier Triebwerke können aber auch die Redundanz erhöhen. So wird z.B. das grüne Hydrauliksystem des Airbus A340 durch die Triebwerke 1 und 4, das blaue System durch das Triebwerk 2 und das gelbe System durch Triebwerk 3 angetrieben.¹²⁷ Sowohl das System Display (siehe Abbildung 27 rechts, vgl. Abbildung 10 rechts) als auch das Overhead Panel (siehe Abbildung 26, vgl. Abbildung 9) tragen diesem Umstand Rechnung und stellen das Hydrauliksystem des Airbus A340 schematisch dar.¹²⁸

¹²⁶ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2001), S. 1.31.15 P 1 – 1.31.15 P 2.

¹²⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2001), S. 1.29.10 P 1 – 1.29.10 P 7.

¹²⁸ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2001), S. 1.29.20 P 1 – 1.29.20 P 7.

2.7.2 Airbus A380

Auch beim größten Verkehrsflugzeug der Welt, dem vierstrahligen, 525-sitzigen und 560 Tonnen (MTOW) schweren Airbus A380 (Erstflug am 27.04.2005) wurde im Cockpit besonderer Wert auf die Cross Crew Qualification gelegt. Für das Type Rating des Airbus A380 sind 24 Tage geplant, bei einer Umschulung oder einem zusätzlichen Type Rating sieht Airbus folgende Aufwände vor:

- Type Rating von A318/A319/A320/A321 auf A380: 13 Tage
- Type Rating von A330/A340 auf A380: 12 Tage¹²⁹

Das Primary Flight Display – direkt im Sichtfeld der Piloten – wurde erstmals um weitere vitale Informationen erweitert, die vorher an weniger prominenter Stelle im Cockpit angezeigt wurden. Es handelt sich dabei um die grafische Darstellung der Vorflügel (Slats) und Landeklappen (Flaps) sowie der Trimmung (siehe Abbildung 28 links). Die neuen Elemente werden unterhalb der bisherigen Anzeigen auf dem auf 6 x 8 Zoll (15,24 x 20,32 cm) vergrößerten rechteckigen Flüssigkristall (LCD) Bildschirmen dargestellt. Auf Wunsch des Piloten können im oberen Teil des PFD Bilder der externen Überwachungskameras eingeblendet werden. Diese Live Übertragung des ETACS (External and Taxiing Camera System) soll die Flugzeugführer beim Rollen und Lenken des Flugzeuges am Boden unterstützen.¹³⁰

Der Airbus A380 verfügt nicht mehr wie bisher üblich über die großen, schwarz-weiß gestreiften, mechanischen Trimmräder in der Mittelkonsole, sondern nur noch über einen unscheinbaren elektronischen Kippschalter für die manuelle Höhenruder- und einen kleinen Drehschalter für die Seitenrudertrimmung. Die entsprechenden Ausschläge werden im Primary Flight Display rechts unten angezeigt.¹³¹

Neben dem PFD befindet sich in gewohnter Weise das Navigation Display, das im unteren Bereich erstmals ein Geländeprofil des überflogenen Bodens im Querschnitt enthält (vgl. Abbildung 28 rechts). Da Flugzeuge technisch gesehen extrem zuverlässig geworden sind, passieren die meisten verbliebenen Unfälle durch manuell kontrollierte Flüge in das Gelände (Controlled Flight into Terrain). Airbus möchte diesem Umstand mit einer verbesserten Informationsaufbereitung entgegenwirken.¹³²

¹²⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2008): Press Release – Reduced pilot training now approved for the A380 (15.02.2008).

¹³⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2006), S. 13.36.

¹³¹ Vgl. Thomalla, Volker K.; Sebastian Steinke (2008), S. 85-86.

¹³² Vgl. Thomalla, Volker K.; Sebastian Steinke (2008), S. 86-87.

Auf dem Navigationsdisplay kann während des Rollens am Boden eine Übersichtskarte des Flughafens mit seinen Rollwegen und Landebahnen eingeblendet werden. Das umfangreiche Kartenmaterial wird über das Onboard Aircraft Navigation System (OANS) des Airbus A380 zur Verfügung gestellt.¹³³

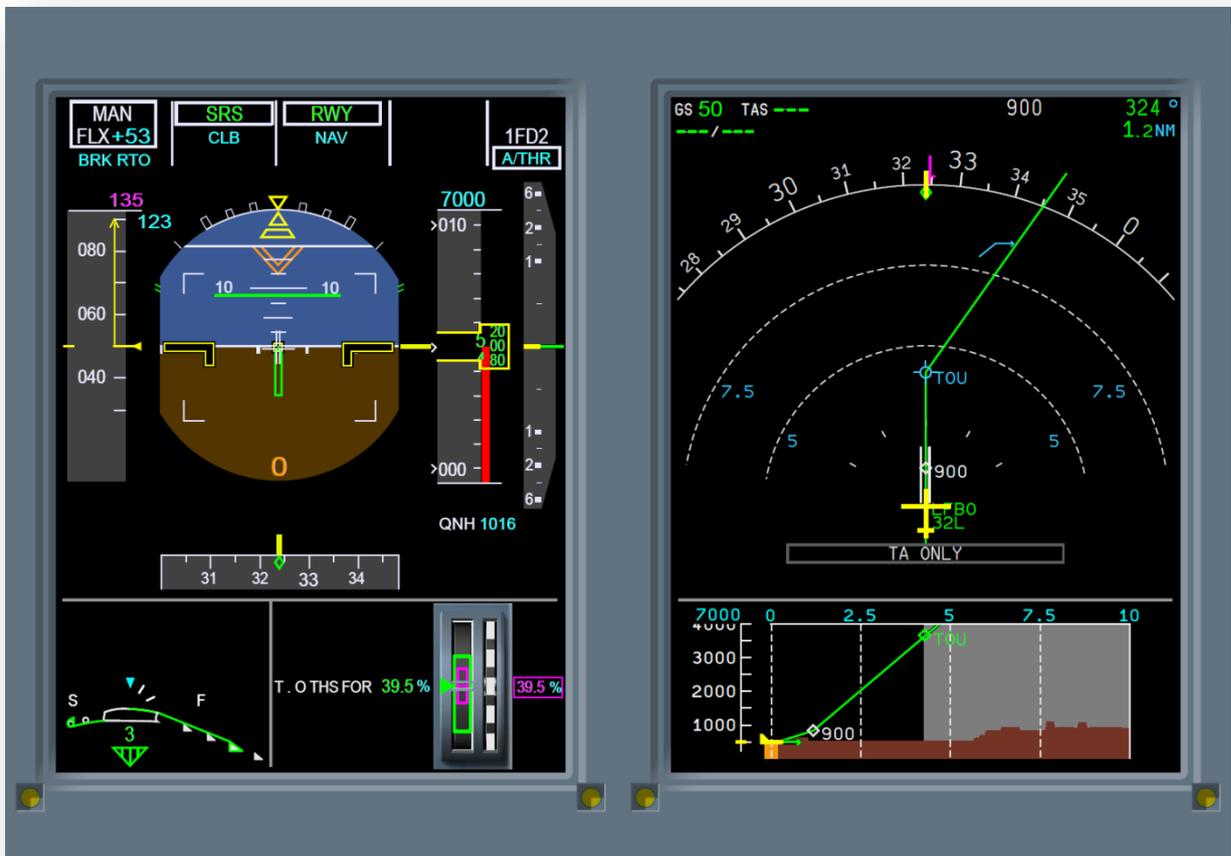


Abbildung 28: PFD und ND des Airbus A380. Das Primary Flight Display (links) wurde im unteren Bereich um Anzeigen für die Landeklappen (Slats/Flaps) sowie der Trimmung erweitert. Das Navigation Display (rechts) enthält zusätzlich ein Geländeprofil des überflogenen Gebietes. Das Flugzeug befindet sich auf der Startbahn 32L des Flughafens in Toulouse/Blagnac (LFBO 32L) und beschleunigt bei aktuell 50 Knoten. (Quelle: Airbus Industrie)

In der Mitte des Hauptinstrumentenbrettes befindet sich das Engine/Warning Display (E/W/D). Wie bei allen Airbus Modellen enthält es im oberen Bereich die wichtigsten Parameter der Triebwerke, darunter können Checklisten, Memos,

¹³³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2006), S. 13.36.

Limits, Warnungen/Hinweise sowie Anweisungen zur Fehlerbehebung angezeigt werden.¹³⁴



Abbildung 29: E/WD und SD des Airbus A380. Das Engine/Warning Display (links) unterscheidet sich kaum von jenem anderer Airbus Modelle. Rechts ist das System Display dargestellt. Im oberen Bereich können über das ECAM Control Panel (ECP) die einzelnen Systeme des Airbus angezeigt werden. Unten befindet sich die sogenannte ATC Mailbox. Sie dient vor allem zum Übertragen von elektronischen Daten. (Quelle: Airbus Industrie)

Direkt unterhalb befindet sich das System Display (SD), auf dem sich weitere, detailliertere Systeminformationen anzeigen lassen. Neu ist dabei im unteren Bereich die sogenannte ATC Mailbox (siehe Abbildung 29 rechts). Im Airbus A380 können Anfragen an die Flugüberwachung sowie Flugverkehrsfreigaben über Datenfunk übermittelt werden. Die Piloten müssen somit nicht mehr permanent den Funkverkehr überwachen, um die für ihr eigenes Flugzeug geltenden Anweisungen herauszuhören.

¹³⁴ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2006), S. 13.25 – 13.27.



Abbildung 30: Multi Functional Display (MFD) des Airbus A380. In diesem Beispiel sind links die wichtigsten Performance Parameter für den Start und rechts der aktive Flugplan für einen Flug von Toulouse/Blagnac (LFBO) nach Paris/Orly (LFPO) dargestellt. (Quelle: Airbus Industrie)

In der Mittelkonsole befinden sich noch zwei Multi-Functional-Displays (MFD) auf denen unter anderem auch der elektronische Flugplan über das Flight Management System (FMS) dargestellt werden kann (siehe Abbildung 30 rechts). In diesem Fall startet der Flug mit der Flugnummer AIB 101 (AIB101) um 14:00 Uhr auf der Startbahn 32L des Flughafens in Toulouse/Blagnac (LFBO32L). Das Abflugverfahren lautet FISTO 5B (FIST5B). Nach zwei Minuten oder vier Nautischen Meilen wird das Funkfeuer Toulouse (TOU) mit einer Geschwindigkeit von 161 Knoten in einer Höhe von 3.610 Fuß überflogen (TOU 14:02 161 3610). Nach weiteren 11 Minuten erreicht der Airbus die Reiseflughöhe (Top of Climb, T/C) von 32.000 Fuß (FL320, 9.754 Meter). Die Geschwindigkeit wird 0,90 Mach (956 km/h) betragen ((T/C) 14:13 .90 FL320). Um 14:27 Uhr beginnt schließlich der Sinkflug (Top of Descent, T/D). Die Landung in Paris/Orly (LFPO) wird nach einem Flug über 327 Nautische Meilen (327NM) für 14:52 Uhr (LFPO 14:52) erwartet.

Da die Programmierung aller Daten und Wegpunkte, vor allem bei einem Langstreckenflug, aufwändig sein kann, wurden in der neuesten FMS Generation zusätzliche Eingabemöglichkeiten eingebaut. Der Klappstisch vor den Piloten enthält z.B. ein Standardkeyboard mit der von einem Computer gewohnten Belegung QWERT und auf den Bildschirmen gibt es einen Mauszeiger der über einen sogenannten Palmpad mit Trackball (Keyboard and Cursor Control Unit, KCCU) über die Mittelkonsole gesteuert werden kann.¹³⁵

Link und rechts neben dem Hauptinstrument befindet sich schlussendlich noch je ein Bildschirm für das Onboard Information System (OIS). Über diese Monitore können z.B. die Betriebshandbücher, Wetterkarten oder Navigationskarten angezeigt werden.

2.7.3 Boeing 787 Dreamliner

Das Cockpit der zweistrahligen, 242-sitzigen und 228 Tonnen (MTOW) schweren Boeing 787 (Erstflug am 15.12.2009) wird von fünf 12 x 9 Zoll (30,48 x 22,86 cm) großen Flüssigkristall Flachbildschirmen beherrscht die von Rockwell-Collins geliefert werden.

Direkt im Blickfeld der Piloten zeigt ein Bildschirm die wichtigsten Flugdaten an, wobei unterhalb des Primary Flight Displays zusätzlich eine vereinfachte Navigationskarte mit Flugplan und Wegpunkten eingeblendet werden kann. Auf den weiteren Bildschirmen können z.B. eine Landkarte mit eingefügten Wetterradardaten, eine Übersichtskarte des Flughafens oder diverse weitere Flugzeugsysteme dargestellt werden. Der fünfte Bildschirm in der Mittelkonsole dient als Informationszentrale für Flugplanung, Navigationshilfen oder Funkfrequenzen. Als Eingabegeräte dienen zwei Datentastaturen und der Mauszeiger auf den Bildschirmen kann mittels Trackpads zu den Menüpunkten bewegt werden.¹³⁶

Bei den Displays handelt es sich um sogenannte Multifunktionsbildschirme (Multi-function Display, MFD) die frei konfigurierbar sind und deren Inhalte leicht getauscht werden können. Im Folgenden sollen typische Kombinationen kurz vorgestellt werden:

In Abbildung 32 ist links das Auxiliary (AUX) Display und rechts das Primary Flight Display (PFD) inkl. Mini-map dargestellt. Das Auxiliary Display enthält im oberen

¹³⁵ Vgl. Steinke, Sebastian (2004): Im Cockpit der A380 – Neue Perspektiven für Airbuspiloten. In: Flug Revue. Nr. 01/04, Januar 2004. S. 88-89.

¹³⁶ Vgl. Steinke, Sebastian (2005): Boeing stellt 787-Cockpit vor – Viel Glas und Doppel-HUD. In: Flug Revue. Nr. 11/2005, November 2004. S. 34-35.

Bereich den Flight Data Block mit Angaben über Flugnummer (FLT #), Sprechfrequenz (MIC), Transponder (XPDR), Rufzeichen (SECAL), Registrierung (TAIL #), Datum und Uhrzeit sowie die bisherige Flugzeit.¹³⁷ Der untere Teil ist der ATC Message Block und dient zur Anzeige von schriftlich erhaltenen Nachrichten der Flugverkehrsüberwachung.¹³⁸



Abbildung 31: Das Cockpit der Boeing 787. (Quelle: The Boeing Company)

Das Primary Flight Display unterscheidet sich in Form und Funktion kaum von jenem des Airbus A320: Über dem künstlichen Horizont werden die Flight Mode Annunciator der Autopiloten angezeigt, links befindet sich der Geschwindigkeits- und rechts der Höhenmesser. Von den Piloten vorselektierte Werte werden über den Skalen in Magenta dargestellt: Die ausgewählte Fluggeschwindigkeit beträgt 143 Knoten (143), die vorgesehene Flughöhe 10.000 Fuß (10000). Im unteren

¹³⁷ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 5.10.12 und 10.10.54.

¹³⁸ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 5.40.19.

Bereich des PFD kann noch die sogenannte Mini-map angezeigt werden. Sie enthält Daten über Kurs, Richtung sowie die Flugstrecke bzw. nächsten Wegpunkte.¹³⁹ In diesem Beispiel befindet sich das Flugzeug gerade auf der Startbahn 13R des Boeing Field/King County International Flughafens (KBFI) in Seattle, Washington (vgl. Mini-map). Auf der Geschwindigkeitsskala kann erkannt werden, dass die Boeing 787 beschleunigt (ansteigender grüner Pfeil) und sich kurz vor der Rotation (Abheben des Bugfahrwerks, VR) befindet.



Abbildung 32: MFD mit Primary Flight Display der Boeing 787. (Quelle: The Boeing Company)

In Abbildung 33 zeigt der linke Teil des MFD das klassische Navigation Display mit eingblendetem Geländeprofil (Vertical Situation Display, VSD). Die Boeing 787 befindet sich in einem Sinkflug bei aktuell ca. 9.000 Fuß Höhe, der weitere Flugweg führt über die Wegpunkte VASHO, ALKIA (Wegpunkt N47 37.3, W122 28.5), ANVIL und PARKK zur Landebahn 13R des Boeing Field/King County International Airports (CF13R). Die Geschwindigkeit über Grund beträgt 251 Kno-

¹³⁹ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 10.10.1 – 10.10.19.

ten (GS 251), die Flugrichtung 51° (TRK 051) und das ND zeigt einen Ausschnitt der kommenden 20 Nautischen Meilen (RANGE 20) an.

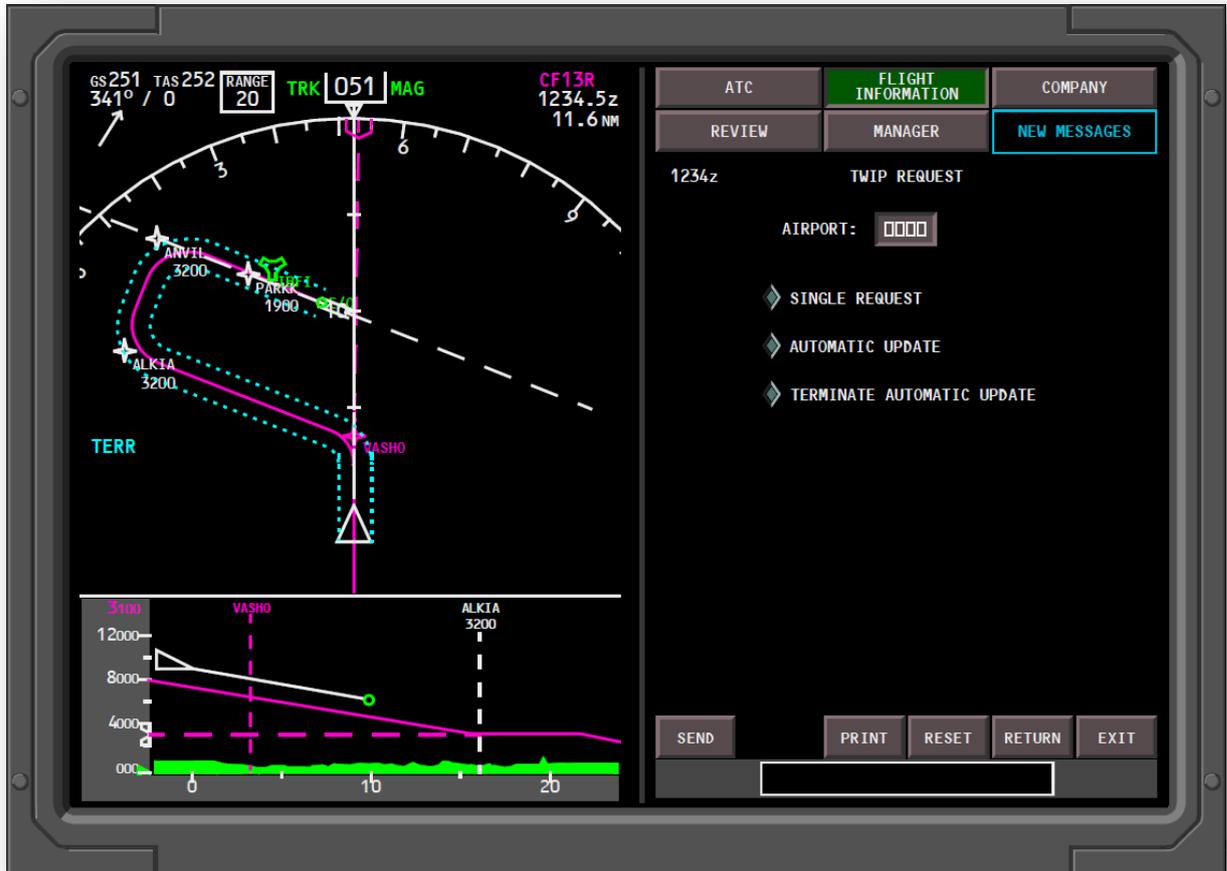


Abbildung 33: MFD mit Navigation Display und Communications Menu. (Quelle: The Boeing Company)

In Cyan ist am Navigation Display der Enroute Corridor dargestellt, der anzeigt welches Areal im unteren Vertical Situation Display abgedeckt ist. Im VSD befindet sich am linken Rand die Höhenskala in Fuß und am unteren Rand die Entfernungsskala in Nautischen Meilen. Das weiße Dreieck markiert die augenblickliche Position des Flugzeuges. Die vorselektierte Flughöhe beträgt 3.100 Fuß (3100), diese wird durch eine waagrecht strichlierte Linie in Magenta visualisiert. In Weiß wird das tatsächliche Flugprofil und in Magenta jenes des vordefinierten Flugplanes angezeigt. Aktive Wegpunkte werden magentafarben (z.B. VASHO) und inaktive weiß (z.B. ALKIA) dargestellt. Eine Zahl unter einem Wegpunkt zeigt an, ob die Flughöhe an dieser Position überschritten (z.B. 3200A, at or above 3.200

ft), unterschritten (z.B. 3200B, at or below 3.200 ft) oder eingehalten werden muss (z.B. ALKIA 3200, at 3.200 ft).¹⁴⁰

Im MFD rechts ist das Kommunikationsmenü eingeblendet. Es dient primär zur schriftlichen Kommunikation mit den Flugverkehrsüberwachungsbehörden, der Bodenstation des Unternehmens und zum Senden und Empfangen von ACARS Nachrichten¹⁴¹.

Über den Menüpunkt `ATC` können vordefinierte Standard-Nachrichten an die Flugverkehrsüberwachung weitergeleitet werden. `FLIGHT INFORMATION` ist eine weitere Schnittstelle zu den Behörden und erlaubt folgende automatisierte Anfragen:

- Departure Clearance (Freigabe für den Start bzw. Abflug),
- Oceanic Clearance (Genehmigung für den Überflug des Ozeans einholen),
- Automatic Terminal Information Service (ATIS) (Hierbei handelt es sich um eine automatische Informationsdurchsage an Flugplätzen mit Instrumentenflugverkehr und gibt Auskunft über Wetterverhältnisse, QNH, Sicht sowie aktive Landebahnen),
- Pushback (Anfrage zum Zurücksetzen eines Flugzeuges, das mit dem Bug an einem Flughafengebäude oder einer Pierposition steht),
- Terminal Weather Information for Pilots (TWIP) (Wetterbericht für einen ausgewählten Flughafen anfragen) und
- Expected Taxi (Anweisungen für das Rollen des Flugzeuges am Boden erteilen).

`COMPANY` ist die Datenschnittstelle zur Bodenstation des Flugunternehmens, `REVIEW` zeigt alle gesendeten und empfangenen Nachrichten, `MANAGER` die Konfiguration des Datenlinks und `NEW MESSAGES` neue Meldungen oder Nachrichten auf die noch nicht geantwortet wurde, an.¹⁴²

Abbildung 34 zeigt links das EICAS Display (Engine Indication and Crew Alerting System) mit den primären und sekundären Triebwerksparametern sowie den wichtigsten Indikatoren für Fahrwerk, Landeklappen, Trimmung und Treibstoff. Rechts wird das sogenannte Synoptic Display dargestellt, das – ähnlich dem ECAM System bei Airbus – die diversen Flugzeugsysteme mit den entsprechen-

¹⁴⁰ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 10.10.27 – 10.10.29.

¹⁴¹ ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) ist ein in den 1970er Jahren entwickeltes, digitales Datenfunksystem zur Übermittlung von Nachrichten zwischen Verkehrsflugzeugen und Bodenstationen. Es erlaubt Fluggesellschaften die Kommunikation mit ihren Luftfahrzeugen mittels Austausch von einfachen Nachrichten und erspart so Funksprüche auf den besonders in Ballungsgebieten überlasteten Sprechfunk-Frequenzen.

¹⁴² Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 5.40.1 – 5.40.3.

den Zuständen schematisch darstellt. Folgende Systeme können angezeigt werden:

- STAT (Status): dokumentiert diverse Statusmeldungen,
- ELEC (Electrical): zeigt schematisch eine Zusammenfassung über die Funktion der Stromgeneratoren sowie den Ladezustand der Batterien,
- HYD (Hydraulic): gibt eine Übersicht über das Hydraulik System der Boeing 787,

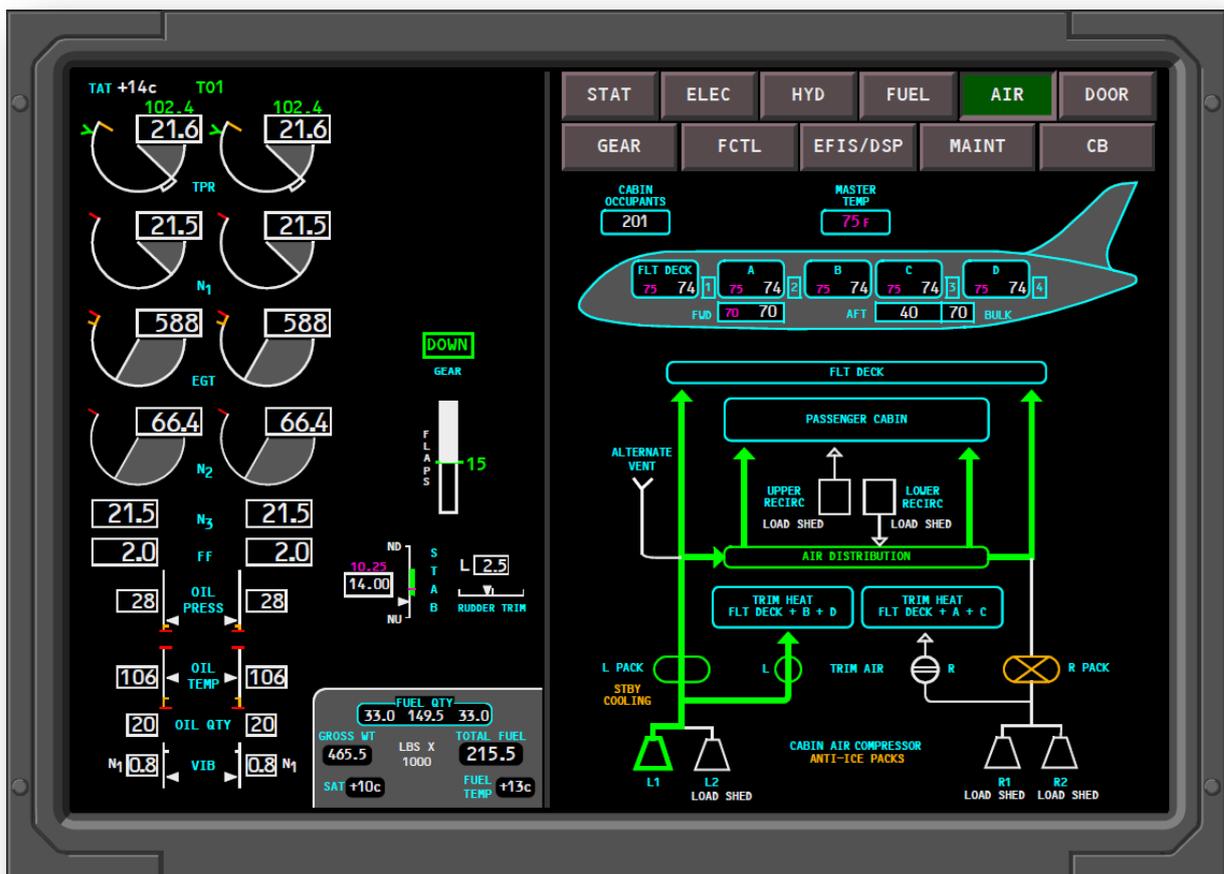


Abbildung 34: MFD mit Triebwerksparametern und Air Synoptic Display. (Quelle: The Boeing Company)

- FUEL: zeigt die Verteilung des Kerosins und den Inhalt der Treibstofftanks an,
- AIR: siehe Abbildung 34 bzw. Erklärung im nachfolgendem Text,
- DOOR: meldet den Zustand der Passagier-, Beladungs- bzw. Frachttüren (geöffnet/geschlossen) sowie der Notrutschen (manuelle-/automatische Aktivierung),

- GEAR: kontrolliert die Temperatur der Bremsen, den Druck der Reifen sowie die Lage des Fahrwerks und der Fahrwerkstüren,
- FCTL (Flight Control): veranschaulicht Funktion und Position der Landeklappen, Spoiler, Höhen- und Seitenleitwerk sowie Trimmung,
- EFIS/DSP (Electronic Flight Instrument System/Display Select Panel): enthält die Menüs zum Konfigurieren der MFD,
- MAINT (Maintenance) sowie
- CB (Circuit Breaker): zur Darstellung der offenen bzw. unterbrochenen Stromkreise.¹⁴³

Rechts zeigt Abbildung 34 das Air Synoptic Display. Im linken oberen Teil wird die Anzahl der Passagiere angezeigt (CABIN OCCUPANTS 201), daneben bzw. unterhalb sind die beiden Temperaturkreise Flight Deck und Kabine – letzterer wird weiter in die Bereiche A, B, C und D untergliedert – gezeichnet. Die vorselektierte Temperatur für das Cockpit bzw. den Passagierbereich beträgt 75° Fahrenheit (FLT DECK 75, bzw. MASTER TEMP 75 F) und ist in Magenta dargestellt. Daneben werden weiß die tatsächlich gemessenen Temperaturen gegenübergestellt.

Direkt darunter zeigt der Bildschirm eine Übersicht über die Systemkomponenten der Klimatisierung. Diese wird über vier Generatoren (L1, L2, R1, R2) – je zwei pro Triebwerk – angetrieben. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich im Flight Crew Operations Manual der Boeing 787-8.¹⁴⁴

¹⁴³ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 1.22.6.

¹⁴⁴ Vgl. The Boeing Company (Hrsg.) (2007), S. 2.10.10 – 2.20.9.

3 Ausgewählte Zulassungsthemen

Am 26. Februar 1988 erhielt der Airbus A320 von der englischen Civil Aviation Authority (CAA), der französischen Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), dem deutschen Luftfahrtbundesamt (LBA) und dem Rijksluchtvaartdienst (RLD) der Niederlande seine Zulassung. Fast genau ein Jahr war, seit dem Erstflug am 22. Februar 1987, mit intensiven Flugtests vergangen, bei denen in der letzten Phase vier Flugzeuge zum Einsatz kamen. Insgesamt wurden 530 Flüge und 1.200 Flugstunden absolviert. Von Behördenseite nahmen rund 70 Experten für Struktur, Flugeigenschaften, Flugkontrolle, Avionik, elektrische Systeme, hydraulische Anlagen, Mechanik, Antriebstechnik und Umwelteinflüsse die Programmüberwachung wahr, teilweise schon seit dem Projektstart im März 1984.

Die Luftfahrtbehörden setzten eine umfangreiche und genaue Aufarbeitung der erfolgten Messdaten voraus. Erschwerend kam hinzu, dass für die neue Fly-by-wire Steuerung zusätzliche Untersuchungen von den Zulassungsbehörden gefordert wurden. Es galt beispielsweise zu beweisen, dass die digitale Datenübermittlung der Flugsteuerung auch durch Interferenzen von leistungsstarken Radiosendern oder Radioeinrichtungen nicht beeinflusst werden kann oder es gar zu einem Ausfall des Computersystems kommt. Zusätzlich mussten für die Zulassung der digitalen Steuerung Analysen zur Bedienbarkeit und radiomagnetische Interferenz-Tests durchgeführt werden. Durch simulierte Blitzschläge wurden die Auswirkungen auf die elektrischen Systeme und die Struktur des Flugzeuges untersucht.¹⁴⁵

Die Untersuchungen von Umwelteinflüssen standen in den letzten Monaten vor der Zulassung auf dem Programm und schlossen Starts und Landungen auf nasser Bahn ein. Dabei wird die Runway bewusst mit Wasser geflutet. Weder beim Rollen, noch während eines Starts oder einer Landung, darf dabei die aufgeworfene Spritzwasserfontaine in die Triebwerke gelangen. Die Funktionsfähigkeit der Steuerelemente ist auch bei strengem Frost unter Vereisungsbedingungen nachzuweisen. Die Cockpit-Scheiben, Flügelvorderkanten, aber auch die Triebwerkseinläufe müssen durch die Enteisungsanlagen auch bei sehr hohen Minusgraden eisfrei gehalten werden. Bereiche die nicht enteist werden, wo aber dennoch mit einem leichten Eisansatz zu rechnen ist, werden während der Testflüge gesondert untersucht. Hier wird ein künstlicher Eisansatz, bestehend aus einem Kunststoffmaterial, aufgebracht, der beispielsweise am Leitwerk einen möglichen

¹⁴⁵ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1988): Europäische Zulassung für A320 – Sicherheit: Kleiner Airbus hat bestanden. In: Flug Revue. Nr. 4, April 1988. S. 90.

Eisansatz simuliert. In den darauf folgenden Flugtests muss nachgewiesen werden, dass auch mit der so veränderten aerodynamischen Form ein sicherer Flugbetrieb möglich ist und die Bedienbarkeit sowie das Flugverhalten der Maschine nicht beeinflusst werden. Fluguntersuchungen bei Betrieb von hochgelegenen Flugplätzen und gleichzeitig heißen Temperaturen fanden in Addis Abeba (2.424 Meter über dem Meeresniveau) in Äthiopien statt.

Über 50 Flugstunden wurden der Arbeitsbelastung der Cockpitbesatzung gewidmet, wobei besonderes Augenmerk auf simulierte Notsituationen und ihre Durchführbarkeit bei einer Zwei-Personen-Crew gelegt wurde. Es ist nachzuweisen, dass der Airbus A320 auch von nur einem Piloten allein sicher geflogen und gelandet werden kann.

An einem Drittel aller Fluguntersuchungen nahmen Vertreter der Luftfahrtbehörden, teils als Piloten, teils als Beobachter teil. Vervollständigt wurden die Fluguntersuchungen durch Streckenflüge, wie sie im Dienst einer Fluggesellschaft üblich sind. Während dieser 100 Flugstunden besuchte der A320 insgesamt 20 Städte und flog Strecken innerhalb Europas und nach Nordafrika.¹⁴⁶

An Bodentests führte Airbus Industrie dynamische Lebensdauer-Untersuchungen an einer Original-Flugzeugzelle durch. Diese Ermüdungsuntersuchungen wurden mit einem elf Meter langen Rumpfmittelstück und den beiden Tragflächen, die über eine Spannweite von 33 Meter verfügen, durchgeführt. Das Testobjekt wird dabei am Boden in eine Hydraulikkonstruktion eingespannt, mit deren Hilfe innerhalb von zwei Minuten eine Flugstunde simuliert werden kann. Im Verlauf eines halben Jahres durchlebt diese Maschine ihr gesamtes Flugzeugleben (60.000 simulierte Flugstunden sowie 120.000 Starts und Landungen). Über 57 hydraulische Zylinder werden Kräfte an Flügel, Rumpf, Fahrwerk und Triebwerkspylon in die Struktur eingebracht. Bei diesen dynamischen Ermüdungsversuchen darf kein Strukturversagen eintreten – auch nicht durch eine, aufgrund eines Computerfehlers bedingte, zu hohe Belastung. Die maximale Verformung während der Flüge tritt an den Tragflächenenden auf. Dort lenken die Hydraulikzylinder die Flügelspitze um maximal 1,10 Meter nach oben und 20 Zentimeter nach unten aus.¹⁴⁷

Mittels eines Evakuierungstests, dieser ist für die Passagiersicherheit im Falle einer Notlandung besonders wichtig, ist letztendlich zu beweisen, dass der Airbus A320 bei maximaler Passagierzahl innerhalb von 90 Sekunden von allen Fluggäs-

¹⁴⁶ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1988): Europäische Zulassung für A320 – Sicherheit: Kleiner Airbus hat bestanden. In: Flug Revue. Nr. 4, April 1988. S. 90-91.

¹⁴⁷ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1987): Leben im Zeitraffer – Sicherheit: Dynamische Ermüdungsversuche für A320. In: Flug Revue. Nr. 7, Juli 1987. S. 88-89.

ten durch die Notausstiege verlassen werden kann. Zusätzlich soll dabei Dunkelheit in der Passagierkabine den Vorgang und das Auffinden der Notausstiege erschweren. Dieser im Oktober 1987 durchgeführte Test mit 179 Passagieren verlief problemlos. Sämtliche Fluggäste konnten das Flugzeug in nur 81 Sekunden verlassen.¹⁴⁸

3.1 Testrichtlinien für Hardware (RTCA DO-160F)

Alle elektronischen Instrumente, die in einem Luftfahrzeug Anwendung finden, müssen vor ihrem Einsatz eingehenden Prüfungen unterzogen werden. Hierbei wird festgestellt, ob sie sich für eine Verwendung im Flugbetrieb eignen und vor allem auch den dabei auftretenden Extrembedingungen und Belastungen gewachsen sind. Zu diesem Zweck wurde von der Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) eine Sammlung von Richtlinien herausgegeben, die sich mit verschiedenen Testverfahren für elektronische Systeme in Verkehrsflugzeugen beschäftigen. Bei der RTCA handelt es sich um einen Zusammenschluss von Regierungsbehörden, Luftfahrtorganisationen sowie Unternehmen der Luftfahrtindustrie. Ziel der Kommission ist es, Empfehlungen für die Bestimmung und Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten abzugeben.

In dem Dokument RTCA DO-160F „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“ (EUROCAE ED-14), das zuletzt 2007 aktualisiert wurde, werden diese Richtlinien zusammengefasst.¹⁴⁹ Im Folgenden soll exemplarisch auf vier Testverfahren eingegangen und die Überprüfung der elektromagnetischen Interferenz beim Airbus A320 im Besonderen beschrieben werden.

3.1.1 Temperatur- und Höhentest

Bei diesem Prüfverfahren wird festgestellt, wie sich elektronische Flugzeugsysteme bei bestimmten Temperaturen und Flughöhen verhalten. Es spielen dabei niedrigste und höchste Temperatur sowie kurzzeitige Extremwerte und ein eventueller Ausfall von Kühl- und Belüftungssystemen eine große Rolle. Beim Temperaturtest wird das Gerät im ausgeschalteten Zustand für mindestens drei Stunden an die definierte Mindest- bzw. Höchsttemperatur und den Luftdruck der Testumgebung angepasst. Anschließend wird mit Hilfe einer vorgegebenen Tabelle die Umgebungstemperatur auf eine minimale bzw. maximale Betriebstem-

¹⁴⁸ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1988): Europäische Zulassung für A320 – Sicherheit: Kleiner Airbus hat bestanden. In: Flug Revue. Nr. 4, April 1988. S. 91.

¹⁴⁹ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. i.

peratur geändert. Nach dieser Phase soll die zu untersuchende Ausrüstung für mindestens 30 Minuten im Höchstbetrieb arbeiten.¹⁵⁰

Beim Höhentest wird das Gerät zunächst mit höchster Leistung betrieben. Dann wird der Luftdruck der Testumgebung laut Tabelle auf einem maximalen Höhenwert geändert und dieser Zustand für mindestens zwei Stunden aufrechterhalten und die Funktionstüchtigkeit des Gerätes überwacht. Beim dazugehörigen Dekompressionstest wird der Luftdruck in sehr kurzer Zeit (nicht länger als 15 Sekunden) auf einem Maximalwert erhöht und für mindestens zehn Minuten beibehalten. Beim Überdrucktest wird der Druck auf einen Maximalwert erhöht und wiederum zehn Minuten beibehalten. Anschließend wird die Änderung rückgängig gemacht und die Zuverlässigkeit des Gerätes untersucht.¹⁵¹

3.1.2 Temperaturänderung

Als Zusatz zum bzw. in Kombination mit dem eben vorgestellten Temperaturtest ist diese Überprüfung anzusehen. Hier wird das Verhalten des Gerätes während normaler Temperaturänderungen zwischen der Höchst- und Tiefsttemperatur beobachtet. Bei diesem Test werden die zu untersuchenden Maschinen je nach Anwendungsbereich im Flugzeug in fünf Klassen eingeteilt. Diese Kategorien geben an, um wie viel Grad sich die Temperatur innerhalb einer Minute mindestens ändern, d.h. absinken oder ansteigen, soll (z.B. Kategorie C: Geräte in einer temperaturkontrollierten Umgebung im Inneren des Luftfahrzeuges; die Temperatur soll sich um zwei Grad pro Minute ändern).¹⁵²

Der Test beginnt damit, dass das Gerät im eingeschalteten Zustand beobachtet wird. Anschließend wird die Temperatur sukzessive bis zu einem Minimalwert gesenkt und stabilisiert. Dann wird die Temperatur bis zum Maximalwert erhöht und während der Erhöhung die Funktion des Gerätes überwacht. Im ausgeschalteten Zustand wird diese Temperatur für ungefähr zwei Minuten beibehalten. Nach einem erneuten Einschalten wird die Temperatur wieder auf den niedrigsten Wert gesenkt und das Verhalten des Gerätes beobachtet. Dieser Zustand wird für mindestens eine Stunde nicht geändert, daraufhin wird das Gerät für 30 Minuten ausgeschaltet und anschließend wieder in Betrieb genommen. Für ein zuverlässiges Testergebnis muss dieser Zyklus mindestens zwei Mal durchgeführt werden.¹⁵³

¹⁵⁰ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 4.1 – 4.6.

¹⁵¹ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 4.6 – 4.7.

¹⁵² Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 5.1.

¹⁵³ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 5.2 – 5.3.

3.1.3 Erschütterungen

Dieses Testverfahren soll sicherstellen, dass ein Gerät seine Funktionstüchtigkeit beibehält, nachdem es einer Erschütterung ausgesetzt wurde, die bei einem regulären Flugbetrieb entstehen kann. Solche Stöße treten in der Regel bei Landungen oder plötzlichen Windstößen auf. Das zu testende Gerät wird dazu an einer entsprechenden Tafel montiert. Dabei sind die gleichen Befestigungen zu verwenden, die auch später im Flugzeug zum Einsatz kommen. Des Weiteren wird ein Messgerät zur Bestimmung der auftreffenden Erschütterung so nahe wie möglich an einem Auftreffpunkt des Gerätes angebracht. Die Messgenauigkeit der Beschleunigung darf dabei nicht mehr als zehn Prozent betragen. Bei eingeschaltetem Gerät und angepasster Temperatur werden drei Stöße in jede Richtung mit einem Beschleunigungswert von je 6 g ausgeführt, danach wird die Funktionstüchtigkeit überprüft.¹⁵⁴

Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass sich die zu prüfenden Geräte nicht von ihren Befestigungen lösen können und so etwa bei Notlandungen ein Sicherheitsrisiko für Besatzung, Treibstoffsysteme und Notfalleinrichtungen darstellen würden. Zu diesem Zweck wird das Objekt in einer Testvorrichtung befestigt. Wie beim Erschütterungstest wird auch hier der Testgegenstand Erschütterungen in alle Richtungen ausgesetzt, mit dem Unterschied, dass die Beschleunigung jetzt 20 g beträgt. Nach dem Test dürfen an den Befestigungen keinerlei Schäden aufgetreten sein.¹⁵⁵

3.1.4 Widerstandfähigkeit gegenüber Wasser

Dieser Test gibt Aufschluss darüber, ob Wasser, das auf ein Gerät gesprüht wird oder rinnt, dieses in seiner Funktionstüchtigkeit beeinträchtigen kann. Die zu überprüfenden Objekte werden dabei je nach Anwendungsgebiet in vier Kategorien eingeteilt. Die Zuteilung hängt davon ab, ob das Gerät an einer Stelle angebracht wird, wo es mit kondensiertem Wasser bzw. Wassertropfen in Berührung kommt oder in einer Umgebung eingesetzt wird, wo mit starkem bis extremen Wasseraufkommen zu rechnen ist.¹⁵⁶

Wenn nur mit tropfendem Wasser zu rechnen ist, so wird das zu testende Gerät vorschriftsgemäß befestigt und in Betrieb genommen. In unregelmäßigen Abständen soll während einer Zeitspanne von 15 Minuten Wasser aus einer Höhe von ungefähr einem Meter auf das Objekt rinnen, wobei mindestens 140 Liter

¹⁵⁴ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 7.1 – 7.3.

¹⁵⁵ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 7.3 – 7.4.

¹⁵⁶ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 10.1.

pro m² je Stunde zu verwenden sind. Anschließend ist sicherzustellen, dass kein Wasser in das Innere des Gehäuses gelangt ist.¹⁵⁷

Muss das Gerät größere Wassermassen verkraften, so wird im eingeschalteten Zustand – wie bei einer Dusche – Wasser direkt auf die empfindlichen Stellen gegossen. Jede empfindliche Stelle soll dabei mindestens 15 Minuten diesem Wasserstrahl ausgesetzt werden. Die Entfernung der Wasserquelle von der Testfläche darf 2,5 Meter nicht überschreiten und der Wasserdruck soll derart gewählt werden, dass pro Stunde mindestens 450 Liter Wasser auf das Gerät auftreffen. Nach dem Test ist das Gehäuse auf Wassereintritt zu überprüfen.¹⁵⁸

Die dritte Prüfungsart bezüglich Feuchtigkeitseintritt wird angewandt, wenn Maschinen einem permanenten Wasserlauf ausgesetzt sind. Bei diesem Test muss das Gerät nicht eingeschaltet sein. Alle Seiten des Objektes werden einem zumindest fünfminütigen Wasserstrahl ausgesetzt, wobei besonders Seiten mit Dichtungen dem Wasser widerstehen müssen. Die Wasserquelle soll ungefähr ein bis zwei Meter vom Gerät entfernt sein. Zum Abschluss ist das Gehäuse wieder auf Wassereintritt zu untersuchen.¹⁵⁹

3.1.5 Elektromagnetische Interferenz (EMI)

Airbus Industrie wurde 1987 von der europäischen Luftfahrtbehörde JAA (Joint Aviation Authorities) über die geforderten EMI-Richtlinien für den mit einem Fly-by-wire ausgerüsteten Airbus A320 informiert. Kurz darauf folgte die amerikanische FAA (Federal Aviation Administration), deren Forderungen sogar die militärischen Zulassungsbestimmungen teilweise überschritten. Bei Airbus war Aérospatiale für die Durchführung der erforderlichen Tests verantwortlich. Diese begannen mit dem dritten Serienflugzeug und fanden sowohl in Toulouse als auch in Cuers auf eigenem Gelände statt. Parallel dazu wurden mit dem sogenannten Iron Bird, dem Mock-up¹⁶⁰ der A320, in Blagnac Cedex Untersuchungen durchgeführt.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen unterteilte die FAA die möglichen Quellen elektromagnetischer Interferenz in drei Hauptbereiche und zehn Störarten, die getrennt überprüft werden mussten. Der erste Bereich fasst elektrostatische Entladungen und Spannungsinduzierung durch Blitzschlag zusammen, der zweite betrifft alle Bordsysteme in einem Frequenzbereich von 400 Hz, die sich gegen-

¹⁵⁷ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 10.2.

¹⁵⁸ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 10.2.

¹⁵⁹ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 10.3.

¹⁶⁰ Bei einem Mock-up handelt es sich um ein maßstäblich gefertigtes, funktionsfähiges Modell bzw. um eine Nachbildung.

seitig stören könnten, und der dritte die hochfrequenten Radiosender und Bodenradars.¹⁶¹

Bei der Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit des Airbus wurde ein Hochfrequenzsender zehn Meter vor der Flugzeugnase, in der das Wetterradar und die Empfänger für das Instrumentenlandesystem (ILS) installiert sind, betrieben. Ein zweiter Sender stand sieben Meter von den Stellgliedern an den Tragflächenvorderkanten und zehn Meter seitlich vom Rumpf in Höhe des Electronic Compartments entfernt. Für die Radartests kamen drei Radaranlagen zum Einsatz: eine 15 Meter vom Avionik-Compartment, eine weitere zwischen fünf und 15 Meter neben dem Triebwerk und die dritte Anlage 15 Meter vom Leitwerk am Heck der Maschine entfernt. Die ausgestrahlten Frequenzen waren teilweise so hoch, dass sie für Menschen gefährlich gewesen wären. Der Airbus zeigte jedoch keinen Systemausfall.¹⁶²

Alle Bereiche des Flugzeuges, die durch einen Blitzschlag gefährdet sind, werden mit einem metallischen Geflecht geschützt (Faradayscher Käfig). Elektrische Leitungen erhalten zusätzlich eine isolierende Ummantelung und redundante Systeme werden möglichst weit auseinander verlegt.¹⁶³

3.2 Entwicklungsrichtlinien für Software (RTCA DO-178B)

Nicht nur die in einem Luftfahrzeug eingesetzte Hardware, sondern auch die Software muss sorgfältig geplant, implementiert und eingehend getestet werden. Um sicherzustellen, dass die Programme im Einklang mit den Luftfahrtanforderungen stehen, wurde von der Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), gemeinsam mit der European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE), der Standard RTCA DO-178B „Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification“ (auch bekannt als EUROCAE ED-12B) im Dezember 1992 publiziert. Das Dokument erschien erstmals 1981 als RTCA DO-178 (EUROCAE ED-12) und wurde im März 1985 als RTCA DO-178A (EUROCAE ED-12A) aktualisiert bzw. erweitert. RTCA DO-178B ist mittlerweile ein international anerkannter und der meistverwendete Standard zur Entwicklung von sicherheitsbezogener Software in der Luftfahrt. Das Dokument beschreibt Techniken und Methoden, die zur Entwicklung und zur Verwaltung der Software

¹⁶¹ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1989b): Vorsicht Sender – Elektronik: Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit. In: Flug Revue. Nr. 12, Dezember 1989. S. 89.

¹⁶² Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992), S. 21.1 – 21.20.

¹⁶³ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1989b): Vorsicht Sender – Elektronik: Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit. In: Flug Revue. Nr. 12, Dezember 1989. S. 89.

angewendet werden. Das Ergebnis dieser Bemühungen ist ein durchgetestetes System, das höchste Zuverlässigkeit bietet.¹⁶⁴

3.2.1 RTCA DO-178B im Überblick

Da die Herstellung von Software, die für ein so heikles Anwendungsgebiet wie es die Luftfahrt darstellt, sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, muss von Programm zu Programm unterschieden werden, welchen Sicherheitsanforderungen es gerecht werden soll. DO-178B unterteilt dabei die Systeme in fünf Gruppen:

Software Level	Failure Condition	Auswirkung
A	Catastrophic	Ein sicherer Flug oder eine Landung ist nicht mehr möglich.
B	Hazardous	Es kommt zu einer starken Beeinträchtigung von Besatzung und Flugzeug. Der Fehler führt zu einer großen Einschränkung der Flugsicherheit, die Besatzung kann ihre Aufgaben nicht mehr zuverlässig und vollständig ausführen und es sind schwere bzw. tödliche Verletzungen von Besatzung/Passagieren wahrscheinlich.
C	Major	Es kommt zu einer Einschränkung von Funktionalität, Erhöhung der Crewbelastung bzw. möglichen Verletzungen.
D	Minor	Es kommt zu leichten Einschränkungen, z.B. einer Flugplanänderung, bzw. zu Unannehmlichkeiten für Passagiere und Besatzung.
E	No Effect	Wird in der Regel nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Software Levels nach RTCA DO-178B (Quelle: RTCA, Inc. (Hrsg.) (2007))

Die Softwareentwicklung erfolgt dabei grundsätzlich in sechs Prozessschritten:

- Planung,
- Entwicklung,

¹⁶⁴ Vgl. Walter, Dennis (2008): DO-178B Software considerations in airborne systems and equipment certification.

- Verifikation,
- Konfigurationsmanagement,
- Qualitätssicherung sowie
- Zusammenarbeit mit der Zertifizierungsbehörde.

In der Planung werden die Entwicklungs- und Integritätsprozesse sowie die Beziehungen und Prozessabläufe definiert. Des Weiteren werden die Methoden, Werkzeuge sowie Entwicklungsstandards festgelegt und es wird geprüft, ob die Softwarepläne den Anforderungen des Standards genügen und diese aufeinander abgestimmt sind.¹⁶⁵

Die Softwareentwicklung wird in vier Schritte untergliedert:

- Definition der Anforderungen,
- Spezifikation,
- Implementierung sowie
- Modulintegration bzw. Integration der Software in die Hardware.

Die Anforderungsdefinition beschränkt sich auf die Funktionen die durch die Software ausgeführt werden sollen und wie diese realisiert werden können. Zusätzlich werden die Softwareanforderungen den Systemanforderungen gegenübergestellt, um die Kompatibilität zwischen Hard- und Software sicherzustellen. Abschließend ist zu prüfen, ob Hard- und Software komplett sind und ob alle Funktionen, die in den Anforderungen definiert wurden, auch dokumentiert sind.

Die Spezifikation soll jenen Personen, die nicht an der Entwicklung beteiligt sind, ermöglichen, einen Überblick über das System zu gewinnen. Eine Verifikation des Softwaredesigns gegenüber den Softwareanforderungen gibt darüber Auskunft, ob die Anforderungen richtig verstanden und korrekt in die Sprache der Programmierer übersetzt wurden. In der Verifikation werden Ausführungszeit, Ausführungsdiagramme, Datenabhängigkeiten und Datenfluss sowie die Reaktion der Software auf Hardwareaktionen überprüft.¹⁶⁶

Aufgabe der Implementierung ist das Codieren der im Softwaredesign definierten Funktionen. Unmittelbar danach erfolgt die Verifikation. Hierbei werden etwaige Unterschiede zu den Anforderungen aus dem Softwaredesign und individuelle Fehler (z.B. Denkfehler) gesucht. Die Verifikation ist dabei eine technische Beurteilung und Prüfung der Ergebnisse sowohl des Software-Entwicklungsprozesses, als auch des Verifikationsprozesses selbst.

¹⁶⁵ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (2007), S. 15-18.

¹⁶⁶ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (2007), S. 19-23.

Nach der Verifikation ist die neue Software ausführlich zu testen, wobei folgende drei Testarten unterschieden werden:

- Hardware/Software Integrationstests,
- Software Integrationstests und
- Low-Level Tests.

Die Tests sollen auf den Softwareanforderungen basieren, die korrekte Funktionalität verifizieren und mögliche Fehler offenlegen. Sie müssen sämtliche Anforderungen an die Software abdecken.

Es gibt zwei Möglichkeiten die Anforderungsdefinition zu testen: Auf der einen Seite anforderungsbasiert mittels eines sogenannten „Black Box“-Verfahrens. Hier werden primär all jene Funktionen getestet, die in der Anforderung definiert wurden. Auf der anderen Seite sind Tests durchzuführen, die auf der Softwarestruktur aufbauen. Solche Tests werden durch sogenannte „White Box“-Verfahren realisiert. In ihnen wird genauer auf die Struktur des Programmes eingegangen. Funktionen, die äußerlich den Anforderungen entsprechen, d.h. den anforderungsbasierten Test bestehen, aber einen strukturellen Fehler beinhalten, können dadurch erkannt werden.

Zu den weiteren Testmethoden gehört der Modultest. In ihm soll herausgefunden werden, ob ein bestimmtes Modul nur die ihm zugewiesenen Aufgaben erfüllt. Je kleiner die Module und Units gewählt wurden, desto mehr Fehler können diesbezüglich gefunden werden. Der Modultest beinhaltet zwei wichtige Teilaufgaben: Einerseits logische Tests, die logische Fehler in der Implementierung suchen und diese beheben, z.B. Endlosschleifen, unrichtige logische Entscheidungen sowie das Fehlen von Abfragen, die untersuchen, ob Eingaben vorhanden oder richtig sind. Andererseits gibt es Modultests, die die Units auf die Sequenz, Ausführungszeit, Sicherheit usw. überprüfen. Beispiele dafür sind die Untersuchung der Daten innerhalb und außerhalb der Spezifikation bzw. Grenzfälle der Spezifikation.

Der Methodentest wird durch den Modulintegrationstest komplettiert. Dieser setzt sich mit der Zusammensetzung und Verbindung der Module auseinander. Module können durch den Daten- bzw. Kontrollfluss, durch Ordnung, Typ und Anzahl der Argumente ausgedrückt werden. Eine andere Art des Modulintegrationstest ist die Analyse des Zeitverhaltens. Zusätzlich wird die geplante Reihenfolge der Ereignisse, wie z.B. das Setzen und Zurücksetzen von Flags und die Initialisierung von Variablen überprüft. Wenn z.B. eine Interruptsteuerung im

Programm enthalten ist, muss geprüft werden, ob die Wiederaufnahme der Ausführung des Programmes nach einem Interrupt korrekt abläuft.¹⁶⁷

Natürlich ist auch nachzuweisen, dass das Programm optimal mit der Hardware zusammenarbeitet. Fehler, die dabei auftreten können, sind: unkorrektes Interruptverhalten, zu langsame Abarbeitung der Module, Hardwarefehler, Busverbindungsprobleme, Fehler im Hardware-/Softwareinterface, usw. Methoden zur Bestimmung der Hardware-/Softwareintegration beinhalten unter anderem Echtzeitsimulation, Überwachung der Auslastung der CPU oder die Verwendung von fehlerhaften Hardwareeinstellungen um Softwarefehler zu erkennen.

Sobald eine Anomalie erkannt wurde, muss sofort die Quelle des Fehlers gefunden werden. In der Programmentwicklung wird dabei soweit zurückgestiegen, bis sichergestellt werden kann, dass der Fehler ausgebessert wurde.¹⁶⁸

Ein neuer Standard (RTCA DO-178C) ist für Ende 2010 angekündigt. Größte Neuerung wird hierbei die Berücksichtigung von modellbasierter Softwareentwicklung und neuer Verifikationsmethoden sein.

¹⁶⁷ Vgl. RTCA, Inc. (Hrsg.) (2007), S. 25-33.

¹⁶⁸ Vgl. Spitzer, Cary R. (Hrsg.) (2001), S. 479-489.

4 Zwischenfälle, Unfälle und ihre Ursachen

Der Airbus A320 ist das erste Flugzeug, das vollständig durch Computer gesteuert wird – es war dies zweifellos ein Meilenstein in der Geschichte der Luftfahrt. Die implementierten Computersysteme sind jedoch enorm komplex und mit der Komplexität steigt auch die Fehleranfälligkeit und sinkt die Zuverlässigkeit. Im Lichte einiger Zwischenfälle im ersten Einsatzjahr erhebt sich nun die Frage, ob der A320 nicht zu früh zum regulären Flugverkehr zugelassen wurde.

Anfang 1988, der Erstflug fand am 22. Februar 1987 statt, wurde von den französischen Behörden der Airbus A320 offiziell zugelassen. In weniger als einem Jahr war es somit dem Hersteller gelungen, die Einhaltung der Sicherheitsstandards den Behörden von vier Staaten der Europäischen Union nachzuweisen.¹⁶⁹

Zum Zeitpunkt des Inaugurationsfluges bei Air France am 28. März 1988 über Paris, kam es jedoch rund um diesen neuen Flugzeugtyp zu Kontroversen. Dieser Flug war nämlich von einer ganzen Serie von Zwischenfällen gekennzeichnet. Weitere Diskussionen entstanden, als am 26. Juni 1988 ein Flugzeug im Wald von Habsheim im Elsass und ein A320 der Indian Airlines im Februar 1989 kurz vor dem Aufsetzen in Bangalore abstürzten. In beiden Fällen wurde das Flugzeug in der Öffentlichkeit von jeder Schuld freigesprochen, noch bevor auch nur der erste Ansatz eines Untersuchungsberichtes veröffentlicht wurde.

Das erste Einsatzjahr der A320 war somit von zahlreichen Zwischenfällen begleitet, welche bestimmte Systeme des Flugzeuges direkt in Frage gestellt haben. Diese Zwischenfälle – das Flugzeug wurde von den ersten darauf ausgebildeten Piloten und einigen Verantwortlichen der Fluglinien teilweise rigoros abgelehnt – warfen die Frage auf, ob der Hersteller und die Zulassungsbehörden nicht zu schnell vorgegangen waren.¹⁷⁰

4.1 Das erste Einsatzjahr

In seiner Stellungnahme an das Amt für Zivilluftfahrt (Direction Générale de l'Aviation Civile, DGAC) vom 11. Juli 1989 über das erste Einsatzjahr der A320

¹⁶⁹ Vgl. Hillebrand, Helga L. (1988): Europäische Zulassung für A320 – Sicherheit: Kleiner Airbus hat bestanden. In: Flug Revue. Nr. 4, April 1988. S. 90.

¹⁷⁰ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320. In: Science & Vie. Mensuel – N° 871, Avril 1990. S. 95.

spricht ein Verantwortlicher der französischen Fluggesellschaft Air France von einer stark erhöhten Anzahl von technischen Zwischenfällen. Während das gesetzte Ziel ein störendes Ereignis pro tausend Flugstunden lautete, endete das Jahr 1988 mit einer Zwischenfallsrate von zwölf pro tausend Flugstunden. Zum Vergleich betrug diese Rate fünf pro tausend im ersten Einsatzjahr des Airbus A300.¹⁷¹

Die Häufigkeit dieser Vorfälle beim Betriebseintritt des A320 bei Air France, Air Inter und British Airways, zwang Airbus Industrie nicht weniger als 52 provisorische Flugnotizen (Operations Engineering Bulletin, OEB) zwischen April 1988 und April 1989 zu veröffentlichen. Normalerweise sind bei einem neuen Flugzeugtyp etwa viermal weniger Publikationen notwendig. OEB's sind temporäre Informationen, die vom Hersteller an die Betreiber ausgegeben werden. Sie formen eine Liste von Besonderheiten oder einfachen funktionalen Merkmalen des Flugzeuges, die nicht im Benutzerhandbuch (Flight Crew Operating Manual, FCOM) aufscheinen. Diese Eigenschaften können erst im praktischen Einsatz erkannt werden.

Im Fall des Airbus A320 vermittelt allein die Anzahl dieser OEB's ein Bild von den Problemen. Bei etwa 20 der 50 Hauptcomputer der ersten A320 Flugzeuge mussten Verbesserungen vorgenommen werden. Dabei bildeten die vielen vom Erzeuger definierten Innovationen den Ursprung neuer Schwierigkeiten. Diese neuen Probleme zwangen den Erzeuger, weitere OEB's zu veröffentlichen.¹⁷²

Die Fluglinien waren gezwungen manche Prozeduren im Umgang mit dem Flugzeug während des Betriebes ein- oder sogar mehrmals abzuändern. Außerdem war – mit Ausnahme von Air Inter, welche nur gute Ergebnisse berichtete – die erhöhte Anzahl von Zwischenfällen die Ursache für eine schlechte Verfügbarkeit und mangelnde technische Bereitschaft der ersten gelieferten Flugzeuge. Ein Bericht der Air France spricht in diesem Zusammenhang von vier Startabbrüchen, 36 Umkehrten am Boden, zehn Rücklandungen, einem Notsinkflug (Emergency Descent), erhöhtem Druck in der Passagierkabine, einem Triebwerksausfall während des Fluges, Landungen aufgrund außerplanmäßigem Verhalten der Maschine und 74 Flugabsagen, noch bevor die Triebwerke gestartet wurden.¹⁷³

¹⁷¹ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): *Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320*. In: *Science & Vie. Mensuel* – N° 871, Avril 1990. S. 95.

¹⁷² Vgl. Sutton, Oliver; Bertrand Bonneau (1989): *Airbus A320's first year in service*. In: *Interavia*. Volume 44, Heft 7/1989. S. 682.

¹⁷³ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): *Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320*. In: *Science & Vie. Mensuel* – N° 871, Avril 1990. S. 96.

4.1.1 Fragliche Zuverlässigkeit

Für die Fluggesellschaften dürfte das Hauptproblem in der Zuverlässigkeit der Informationen gelegen sein, welche von den Systemen des Flugzeuges an die Cockpitbesatzung übermittelt worden sind. Darauf baut auch die Einschätzung des Technischen Direktors der Air France auf, der in seinem Bericht ausführt, dass verschiedene Widersprüchlichkeiten in der Informationsaufbereitung zu verwirrenden und beunruhigenden Situationen geführt haben, weil die Informationen, die den Piloten über das Engine/Warning Display präsentiert wurden, nicht mit den tatsächlichen physikalischen Verhältnissen im Einklang standen.¹⁷⁴

Zweifelsohne teilen Kapitän Claude Dalloz und Erster Offizier Patrick Vacquand diese Ansichten. Am 28. August 1988 wurden sie beim Start des Fluges AF 914 von Paris/Charles de Gaulle nach Amsterdam von der Meldung `MAN PITCH TRIM ONLY` auf ihren Kontrollschirmen überrascht. Diese Mitteilung soll den Piloten anzeigen, dass die automatische Trimmung um die Querachse nicht mehr funktioniert.¹⁷⁵ In diesem Fall ist ein sofortiges manuelles Eingreifen erforderlich. Tatsächlich konnten die Piloten keinen Unterschied zum Normalbetrieb erkennen.

Kurz danach traten weitere Fehlalarme auf, wie z.B. `LAVATORY SMOKE`, oder es wurden nicht vorhandene Probleme im Flugkontrollsystem, beim Fahrgestell bzw. dem Autopiloten angezeigt.

Die Besatzung beschloss umzukehren, doch während des Sinkfluges konnte, einer Information der Überwachungsrechner zufolge, das Fahrwerk nicht vollständig ausgefahren werden. Mehrere Anflugversuche und Sicherheitsmanöver mussten durchgeführt werden, dennoch bestätigte der Computer noch immer die Meldung `GEAR NOT DOWNLOCKED`. Nach einem tiefen Vorbeiflug beim Tower bekam die Crew die Bestätigung, dass das Fahrgestell vollständig ausgefahren sei. Die Passagiere wurden auf einen eventuellen Unfall bei der Landung vorbereitet, der jedoch zum Glück nicht eintrat. Dieser Zwischenfall wiederholte sich am 29. November 1988 auf einem anderen Flugzeug. Alles in allem dauerte es neun Monate, um nach diesen beiden Zwischenfällen eine neue Version des Flugwarncomputers (Flight Warning Computer, FWC) den Betreibern zur Verfügung zu stellen.¹⁷⁶

¹⁷⁴ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): *Aéronautique – Les Crises de nerfs de l’A 320*. In: *Science & Vie. Mensuel* – N° 871, Avril 1990. S. 96.

¹⁷⁵ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.10 P 1 – 1.27.10 P 8, 1.27.30 P 7.

¹⁷⁶ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): *Aéronautique – Les Crises de nerfs de l’A 320*. In: *Science & Vie. Mensuel* – N° 871, Avril 1990. S. 96-97.

4.1.2 Ein launischer Höhenmesser

Viele Designfehler in den Systemen konnten seit Inbetriebnahme des Flugzeuges aufgedeckt werden. Für die Passagiere am spektakulärsten waren wohl die Extravaganzen des integrierten Kabinen-Kommunikationssystems (Cabin Intercommunication Data System, CIDS). Es veränderte Meldungen der Besatzung und ließ Lämpchen in der Kabine unmotiviert aufleuchten. Wesentlich ernsthafter hingegen war, dass die Temperaturregelung der Passagierkabine mit jenem Computer (Full Authority Digital Engine Control, FADEC) interferierte, der die Triebwerke steuert. Um solche Probleme zu vermeiden wurden die Besatzungen angewiesen die Temperaturregelungssysteme nicht erneut zu initialisieren während die Triebwerke liefen.

Eines der schwerwiegendsten Phänomene für die Crews waren die plötzlichen und zum falschen Zeitpunkt auftretenden Änderungen des Höhenmessers während des Fluges. Ab einer bestimmten Flughöhe müssen die Piloten ihren Höhenmesser standardmäßig korrigieren, sodass alle Flugzeuge, die sich in einem gemeinsamen Luftraum befinden, die gleiche Referenz für die Höhe besitzen (1.013 hPa QNH). Wenn das Flugzeug sinkt, müssen die Piloten in einer vorgegeben Höhe ihren Höhenmesser auf einen neuen Bezugspunkt umstellen, und zwar auf den Luftdruck des Zielflughafens. Das plötzliche Umschalten des Höhenmessers über die Flight Control Unit (FCU) geschah manchmal unter eigenartigen Bedingungen. So passierte im Juli 1988 bei einem Anflug auf Paris/Charles de Gaulle folgender Zwischenfall: Durch einen Fehler im Computer wurde die neue Flughöhe beim Umstellen falsch berechnet, was dazu führte, dass das automatische Sicherheitssystem des Flugzeuges eine viel zu geringe Höhe feststellte und auf einmal damit begann, große Treibstoffmengen umzupumpen. Der Anflug erfolgte manuell und nur durch das rasche Eingreifen der Besatzung gelang es die Maschine unter Kontrolle zu halten.

Diese Probleme traten zumindest bei den ersten drei an Air France gelieferten Flugzeugen auf, unter ihnen auch jenes, welches bei Habsheim abgestürzt ist. Die Untersuchungskommission stellte im Abschlussbericht fest, dass es einen Zwischenfall mit dem Höhenmesser einige Stunden vor dem Unglück gegeben hatte. Dieser, auf einen Entwurfsfehler zurückzuführende Zwischenfall, hatte allerdings mit dem Flugzeugabsturz selbst nichts zu tun.¹⁷⁷

¹⁷⁷ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320. In: Science & Vie. Mensuel – N° 871, Avril 1990. S. 97-98.

4.1.3 Aufzeichnen von Daten

Eine weitere potentielle Quelle von Problemen lag im Bereich der Aufnahme der Flugdaten durch den Flugschreiber (Digital Flight Data Recorder, DFDR). Tatsächlich werden alle Daten die die Piloten angezeigt bekommen von diversen Computern verarbeitet. Nun bezieht der DFDR (auch Black Box genannt) seine Daten aber irgendwo aus der Mitte der Verarbeitungskette und nicht am Beginn oder Ende. Daher können beim Untersuchen der aufgezeichneten Daten keine genauen Rückschlüsse gezogen werden, was dem Piloten tatsächlich angezeigt worden ist, da die Daten nicht von den Symbolgeneratoren (Display Management Computer, DMC) der Bildschirme stammen.

Dieser Umstand lässt Spekulationen über die beiden zuvor angeführten Zwischenfälle zu. Hätte der Paris-Amsterdam Flug zu einem Absturz geführt, hätte der Black Box Rekorder aufgezeichnet, dass die Piloten keine automatische Trimmung der Querachse zur Verfügung hatten, da er den Großteil seiner Information vom Flugwarncomputer (FWC) bezieht. Tatsächlich aber hatte die Flugkontrolle funktioniert, aber der Flugwarncomputer als prinzipielle Informationsquelle des Rekorders hatte versagt.

Auch im Fall des verrücktspielenden Höhenmessers lag die Fehlfunktion nicht im Bereich der Messinstrumente an sich und so wäre im Flugschreiber auch die richtige Höhe aufgezeichnet worden. Erst danach gelangten die Höhendaten in den Computer, der sie falsch verarbeitete und schließlich die falsche Information auf die Bildschirme weiterleitete.¹⁷⁸

4.1.4 Modifikationen

Bevor der Airbus A320 in den kommerziellen Flugbetrieb übernommen wurde, bemängelten die Instrukturen der Fluglinien, dass es nie zu Kontakten mit den Testpiloten von Airbus Industrie gekommen sei. In seinem Bericht hält der technische Vizedirektor der Air France fest, dass es erst nach sechs Monaten möglich geworden war, eine offene Beziehung herzustellen.

Die Adaption von fehlerhaften Systemen wurde Schritt für Schritt in verschiedenen Änderungskampagnen begonnen, als zu Beginn und Mitte 1989 die ersten Probleme gefunden und aufgelistet wurden. Es war teilweise notwendig, bis Ende 1989 (18 Monate nach Zertifizierung) auf die endgültige Version verschiedener Teile der Ausrüstung zu warten. Bis dahin war die Sammlung von zusätzlichen

¹⁷⁸ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): *Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320*. In: *Science & Vie. Mensuel* – N° 871, Avril 1990. S. 98-99.

technischen Anmerkungen, die an die Besatzungen der A320 ausgegeben wurden auf elf Seiten angewachsen. Bei anderen Flugzeugen in der Flotte von Air France waren dies höchstens drei Seiten.

Im Gegensatz zu nicht nur von verschiedenen Pilotenvereinigungen, sondern auch von der amerikanischen Zulassungsbehörde (Federal Aviation Administration, FAA) oftmals geäußerten Bedenken, waren die elektrische Flugkontrolle (Fly-by-wire) und das elektronische Kontrollsystem der Triebwerke – die beiden großen technologischen Innovationen des Airbus A320 – niemals der direkte Grund eines einzigen signifikanten Zwischenfalles. Sowohl in der Testphase als auch im Betrieb wurden die Flugzeuge beispielsweise mehrmals von Blitzen getroffen, ohne dass es den geringsten Einfluss auf die Flugkontrollsysteme gab.

Die Mehrheit der relevanten Schwierigkeiten und Designfehler der A320 betraf daher mehr die klassischen Systeme. So waren laut Aussage eines Verantwortlichen der Air France Kabinendruck, internes Kommunikationssystem (CIDS), Pneumatik oder die Hilfsturbine (Auxiliary Power Unit, APU) lange Zeit von untragbar geringer Zuverlässigkeit.¹⁷⁹

4.1.5 Industriegeheimnisse

Das Einbringen verschiedenster Teile von Software in die Flugzeuge der neuesten Generation (Airbus A320/A330/A340/A380, aber auch McDonnell Douglas MD-11, Boeing 747-400, Boeing 777/787) stellte auch die Behörden vor Probleme. Bis dahin waren die Zulassungsbehörden mit viel einfacheren Systemen (z.B. Seilzüge) und perfekt erforschten Technologien (z.B. Elektrizität) konfrontiert. Mit der A320 fand sich der Zertifikator vor einem gewaltigen interaktiven Datenverarbeitungssystem. Da niemand die rasche Verbreitung von Computern an Bord von Flugzeugen vorhergesehen hatte, war es auch nicht möglich in den internationalen Standardwerken (Federal Aviation Regulations, FAR oder Joint Aviation Requirements, JAR) Regeln über diesen Bereich zu finden.

Zusätzlich hatten die Zulassungsbehörden gegen Schutzmechanismen der eingebauten Software zur Wahrung von Industriegeheimnissen anzukämpfen. So waren die offiziellen Stellen manchmal gezwungen ihre Zustimmung zu einem Modul zu geben, lediglich auf Grund der einfachen Demonstration des geforderten Ergebnisses, jedoch ohne den genauen Aufbau des Systems zu kennen. In diesem Zusammenhang hätten ausgiebigere Tests und Analysen der Systeme die Flug-

¹⁷⁹ Vgl. Sutton, Oliver; Bertrand Bonneau (1989): Airbus A320's first year in service. In: Interavia. Volume 44, Heft 7/1989. S. 682.

gesellschaften vielleicht davor bewahrt, mit der Modifikation von fast der Hälfte der Computer der ersten Flugzeuge leben zu müssen.

Der aufgrund von Industriegeheimnissen notwendige Schutz der Software bildete auch ein Hindernis für die Wartung der Maschinen durch die Flugunternehmen. Sie mussten es dem Hersteller überlassen die Ursachen für Fehlfunktionen zu verstehen bzw. überhaupt zu finden.¹⁸⁰

4.1.6 Ungereimtheiten bei der Zulassung

Es ist bemerkenswert, dass die Praxis einige Schlupflöcher bei der Zulassung aufgezeigt hat. Eine provisorische Mitteilung aus dem Mai 1988 (OEB No. 06/2) enthüllt zum Beispiel, dass die Information für die Höhenmesser des Piloten und des Kopiloten einer einzigen Quelle entspringt, was eindeutig den „Zulassungsstandards widerspricht. Nachfolgend exemplarisch ein Auszug aus diesem Bulletin:

„REASON FOR ISSUE:

The present design for barometric altitude indication does not comply with airworthiness requirements which impose independent channels for CAPT and F/O altitude indications.

EXPLANATION:

The FCU is composed of two processing channels, only one operating at a time. The active channel controls both CAPT and F/O baro settings which are displayed on FCU and PFD. Some failures of the baro setting part may lead to an erroneous baro setting display on CAPT and F/O side, which involves errors on altitude displays.

ACTIONS:

FCU modification (n° 20762) consisting to monitor baro setting and avoiding that single failure affects both CAPT and F/O baro selections is under preparation. Until FCU modification application, the following procedures must be applied.

PROCEDURE:

After each baro setting change, cross check PFD altitude indications with the standby altimeter indication.

¹⁸⁰ Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): Aéronautique – Les Crises de nerfs de l’A 320. In: Science & Vie. Mensuel – N° 871, Avril 1990. S. 100.

Moreover it is recommended to cross-check baro setting on FCU and on standby altimeter when below transition altitude.

After each engagement and disengagement of FD or AP:

- *Cross check both baro setting with standby altimeter*
- *Check selected altitude as well as other FCU selectable values.”¹⁸¹*

Ein weiteres Informationsbulletin (OEB No. 33/1) – ausgesendet im August 1988 – besagt, dass die Sicherheitsbeleuchtung des Fußbodens in der Passagierkabine nicht den Genehmigungsstandards entspricht. Es würde sich die Einheit nicht automatisch aktivieren, wenn das Sicherheitssystem des Flugzeuges eine Notevakuierung veranlassen und die primäre Elektrizitätsversorgung ausfallen sollte. Dieses System schafft die Voraussetzung für einen beleuchteten Fluchtweg im Zentralgang der Kabine, um den Passagieren trotz Dunkelheit oder Rauchentwicklung einen sicheren Weg zu den Notausgängen oder Türen zu ermöglichen. Der vorliegende Designfehler wurde auch im Abschlussbericht der Untersuchungskommission des Absturzes bei Habsheim hervorgehoben.

Ein abschließendes Beispiel: Es brauchte bis zu einem Testflug im Juli 1989, um festzustellen, dass in bestimmten Fällen das Fahrgestell nicht vollständig eingefahren werden konnte, wenn beim Abheben das linke Triebwerk (Engine No. 1) ausfiel (OEB No. 62/1).¹⁸²

4.2 Flugunfälle und ihre Ursachen

Der von der europäischen Airbus Industrie gebaute Airbus A320 ist sowohl das fortschrittlichste Verkehrsflugzeug der Welt, als auch einer der größten Verkaufsschlager in der Luftfahrtgeschichte. Die ersten Jahre, von 1988 bis 1994, waren jedoch durch eine beispiellose Unfallserie geprägt, bei der fünf Flugzeuge verunglückten und insgesamt 191 Menschen starben. Nachdem es bei einigen dieser Zwischenfälle unmittelbar zu einem Konflikt zwischen Pilot und Computer (Autopilot) kam, modifizierte Airbus die Software derart, dass die Cockpitbesatzung heute über mehr Eingriffsmöglichkeiten verfügt und z.B. den Grad der Kontrolle durch das System selbst wählen kann.¹⁸³ In der nachfolgenden Tabelle findet sich eine Übersicht der Flugunfälle des Airbus A320 und seiner Nachfolger. Ein Flugunfall ist dabei ein Ereignis im Zusammenhang mit dem Betrieb eines

¹⁸¹ Airbus Industrie Flight Division (Hrsg.) (1988): OEB (Operations Engineering Bulletin) Bulletin N° 06/2.

¹⁸² Vgl. Bonneau, Bertrand (1990): Aéronautique – Les Crises de nerfs de l’A 320. In: Science & Vie. Mensuel – N° 871, Avril 1990. S. 100-101.

¹⁸³ Vgl. Weyer, Johannes (2008), S. 248-250.

Luftfahrzeuges, bei dem mindestens eine Person getötet oder schwer verletzt worden ist.

Datum	Ort	Flugzeugtyp	Fluglinie	Todesopfer
26.06.1988	Habsheim, Frankreich	A320-111	Air France	3
14.02.1990	Bangalore, Indien	A320-231	Indian Airlines	92
20.01.1992	Straßburg, Frankreich	A320-111	Air Inter	87
14.09.1993	Warschau, Polen	A320-211	Lufthansa	2
30.06.1994	Toulouse, Frankreich	A330-322	Airbus Industrie	7
10.03.1997	Abu Dhabi, U.A.E.	A320-212	Gulf Air	-
22.03.1998	Bacolod, Philippinen	A320-214	Philippine Airlines	-
23.08.2000	Manama, Bahrein	A320-212	Gulf Air	143
24.08.2001	Lajes, Portugal	A330-243	Air Transat	-
02.08.2005	Toronto, Kanada	A340-313	Air France	-
03.05.2006	Sotschi, Russland	A320-211	ARMAVIA	113
17.07.2007	Sao Paulo, Brasilien	A320-233	TAM	187
30.05.2008	Tegucigalpa, Honduras	A320-233	TACA	3
27.11.2008	Mittelmeer	A320-232	XL Airways	7
15.01.2009	New York City, USA	A320-214	US Airways	-
01.06.2009	Atlantischer Ozean	A330-203	Air France	228
12.05.2010	Tripolis, Libyen	A330-203	Afriqiyah Airways	103
28.07.2010	Islamabad, Pakistan	A321-231	Airblue	152

Tabelle 5: Flugunfälle des Airbus A320 und seiner Nachfolgemodelle Airbus A330 und A340.

(Quelle: www.airdisaster.com, www.airsafe.com)

Nachfolgend soll auf Airbus Unfälle, die unmittelbar auf Designschwächen oder Computerfehler zurückzuführen sind, näher eingegangen werden.

4.2.1 Habsheim (Frankreich), 26. Juni 1988

Bei der Präsentation des Airbus A320 – des ersten vollständig mittels Computer gesteuerten Verkehrsflugzeuges der Welt – wurde von einigen Experten kritisiert, dass die umfangreiche Computerausstattung des Flugzeuges eine extreme Umstellung der Flugzeugführer erfordere. Besonders für erfahrene Piloten, die an die frühere Generation von Flugzeugen gewöhnt waren, würde dieser doch sehr stark geänderte Arbeitsplatz – besonders in Stresssituationen – eine große Belastung darstellen.

Auch nach dem Absturz eines nur drei Tage alten Airbus A320 der französischen Fluggesellschaft Air France während einer Flugshow in Habsheim am 26. Juni 1988 tauchte bei den kritischen Experten der Verdacht auf, dass diese Technik noch nicht ausgereift sei. Eigentlich hätte es eine Demonstration der technischen Überlegenheit werden sollen, wurde jedoch eine Demonstration der menschlichen Unzulänglichkeiten.¹⁸⁴



Abbildung 35: Habsheim (Frankreich), 26. Juni 1988. Während einer Flugshow stürzt ein nur drei Tage alter Airbus A320 der französischen Fluggesellschaft Air France in den angrenzenden Wald. (Quelle: André Karsenty, Antenne 2)

¹⁸⁴ Vgl. Morgenstern, Karl; Dietmar Plath (1992), S. 73-78.

Sofort nach dem Unfall wurde ein Flugverbot für alle fünf, zum damaligen Zeitpunkt ausgelieferten, Airbus A320 Flugzeuge ausgesprochen. Betroffen waren die Erstkunden British Airways und Air France mit je zwei Maschinen sowie die französische Inlandsfluglinie Air Inter mit einem Flugzeug.¹⁸⁵ Aber schon nach 24 Stunden wurde dieses Verbot wieder aufgehoben, nachdem die Auswertung des Cockpit Voice Recorders (CVR) und des Flugdatenschreibers (Digital Flight Data Recorder) keine Fehler des Airbus A320 erkennen ließ.¹⁸⁶

Uhrzeit (UTC)	Flughöhe (Fuß)	Geschwindigkeit (Knoten)	Pitch	Triebwerksleistung		Anmerkung
				links	rechts	
12:45:23	46	141	9°	29%	29%	“Fifty” (RA)
12:45:24	46	140	9°	29%	29%	
12:45:25	44	136	8°	29%	29%	
12:45:26	40	132	9°	29%	29%	
12:45:27	38	129	11°	29%	29%	“Forty” (RA)
12:45:28	38	131	12°	29%	29%	
12:45:29	38	130	11°	29%	29%	
12:45:30	36	126	10°	29%	29%	
12:45:31	34	124	12°	29%	29%	
12:45:32	32	123	14°	29%	29%	
12:45:33	32	122	14°	29%	29%	
12:45:34	32	122	13°	29%	29%	TO/GA
12:45:35	32	119	14°	31%	31%	“Thirty” (RA)
12:45:36	30	116	15°	36%	36%	“Thirty” (RA)
12:45:37	20	116	14°	49%	50%	
12:45:38	24	112	14°	67%	67%	“Thirty” (RA)
12:45:39	34	114	15°	83%	84%	

Tabelle 6: Auszug aus dem Digital Flight Data Recorder. Zwischen 12:45:34 UTC und 12:45:35 UTC wurde der Triebwerksregler in die Position TO/GA (Take-Off/Go-Around) geschoben. Fünf Meldungen des Radiohöhenmessers (Radio Altimeter, RA) wiesen auf die zu geringe Flughöhe hin. Unter Pitch ist der Anstellwinkel des Flugzeuges angeführt. Um 12:45:40 UTC berührte das Heck der Maschine die ersten Bäume (1 Fuß = 30,48 Zentimeter, 1 Knoten = 1,85 km/h). (Quelle: Direction des Journaux Officiels)

¹⁸⁵ Vgl. Müller, Klaus (1988): Protokoll eines Absturzes – Luftverkehr: Die Technik des Airbus A320 war bis zuletzt in Takt. In: Flug Revue. Nr. 8, August 1988. S. 22.

¹⁸⁶ Vgl. Lenorovitz, Jeffrey M. (1988): A320 Crash Investigation Centers On Crew’s Judgment During Flyby. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 129, No. 1, July 4, 1988. S. 28-29.

Der Digital Flight Data Recorder (DFDR) zeichnet beim Airbus A320 insgesamt 209 Parameter digital auf einem 136 Meter langen und 0,25 Inch (64 Millimeter) breiten Magnetband auf. Das Endlosband bewegt sich dabei mit einer Geschwindigkeit von 0,3 Inch (76 Millimeter) pro Sekunde an dem Schreibkopf vorbei. Das Band selbst hat sechs parallele Spuren, jede Spur kann Daten über einen Zeitraum von 4 Stunden und 10 Minuten aufzeichnen. Insgesamt können somit die Parameter der letzten 25 Stunden auf dem Endlosband aufgezeichnet werden. Die wichtigsten Daten sind dabei einmal pro Sekunde zu dokumentieren.¹⁸⁷

Mit der Untersuchung wurde der französische Pilot Claude Bechet beauftragt, der schließlich am 30. November 1989 seinen Abschlussbericht vorlegte.^{188, 189} Eine englische Übersetzung erschien im Sommer 1990 in der Fachzeitschrift *Aviation Week & Space Technologie*.^{190, 191, 192, 193, 194, 195, 196}

Am Sonntag, den 26. Juni 1988 sollte ein Airbus A320-111 der französischen Fluggesellschaft Air France mit der Registrierung F-GFKC und der Seriennummer 009 zwei Alpen-Rundflüge mit Passagieren im Auftrag des Fliegerclubs Mulhouse (Aéro-club de Mulhouse) durchführen. Die Besatzung wurde gebeten, den Flughafen Mulhouse/Habsheim im Rahmen einer von diesem Club veranstalteten Flugshow zu überfliegen. Start und Ziel der Flüge war der ca. 17 Kilometer entfernte Flughafen Basle-Mulhouse. Als Orientierung für diesen Sichtflug diente die zwischen Basel und Mulhouse verlaufende Autobahn A35 bzw. parallel dazu führende Eisenbahnschienen.

¹⁸⁷ Vgl. Roger, Christian (1998): The Airbus A320 crash at Habsheim, France 26 June 1988 – Why and how the flight recorder tapes were forged. S. 22.

¹⁸⁸ Vgl. Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) (1990a).

¹⁸⁹ Vgl. Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) (1990b).

¹⁹⁰ Vgl. Bechet, Claude (1990a): French Report Details 1988 Crash Of A320 Following Air Show Flyby. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 132, No. 23, June 4, 1990. S. 107-109.

¹⁹¹ Vgl. Bechet, Claude (1990b): Flight Recorders Detail A320's Engine, Control Settings for Air Show Flyby. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 132, No. 24, June 11, 1990. S. 78-79.

¹⁹² Vgl. Bechet, Claude (Hrsg.) (1990c): Post-Crash Fire Destroyed A320 Following Plunge Through Trees. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 132, No. 25, June 18, 1990. S. 99-103.

¹⁹³ Vgl. Bechet, Claude (1990d): Cabin Crew Evacuated A320 Passengers Until Smoke, Flames Became Too Intense. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 132, No. 26, June 25, 1990. S. 98-99.

¹⁹⁴ Vgl. Bechet, Claude (1990e): Simulator, Actual Flights Reproduced A320's Maneuvers, Engine Parameters. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 133, No. 2, July 9, 1990. S. 60-64.

¹⁹⁵ Vgl. Bechet, Claude (1990f): Commission Finds Flight Preparations Not in Accordance With Air France Rules. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 133, No. 4, July 23, 1990. S. 90-93.

¹⁹⁶ Vgl. Bechet, Claude (1990g): Commission Proposes More Preparation, Special Training for Airshow Flyovers. In: *Aviation Week & Space Technologie*. Volume 133, No. 5, July 30, 1990. S. 90-93.

Der morgendliche Überstellungsflug von Paris/Charles-de-Gaulle nach Basle-Mulhouse verlief ohne Probleme. Nach einem kurzen Zwischenstopp in Basel, um die Passagiere aufzunehmen, befand sich das Flugzeug um 14:29 Uhr Lokalzeit (12:29 UTC) auf dem Weg zur Startbahn. Kapitän des Fluges war der 44-jährige Michel Asseline, der auf eine Flugerfahrung von 10.463 Flugstunden verweisen konnte, 138 Stunden davon auf dem Airbus A320. Asseline war als Managementpilot verantwortlich für die Airbus A320 Flotte der Air France und bildete den Nachwuchs auf diesem Flugzeugtyp aus. Kopilot war der 45-jährige Pierre Mazières. Seine Erfahrung: 10.853 Stunden, davon 44 Stunden auf dem Airbus A320.

Während des Rollens erklärte Michel Asseline seinen Kopiloten das Programm für die Flugshow: Der erste Überflug sollte mit langsamer Geschwindigkeit, ausgefahrenem Fahrwerk und Landeklappen in einer Höhe von 100 Fuß (30,4 Meter) erfolgen. Der zweite Überflug war in sauberer Konfiguration (Fahrwerk und Landeklappen eingefahren), mit einer Geschwindigkeit von 340 Knoten (630 km/h) und ebenfalls in einer Höhe von 100 Fuß vorgesehen.¹⁹⁷

Der Start erfolgte auf dem Flughafen Basle-Mulhouse um 14:41 Uhr auf der Startbahn 15 in nordnordöstlicher Richtung, unmittelbar gefolgt von einer Rechtskurve. Um 14:42 Uhr wurde die Reiseflughöhe von 1.000 Fuß (304,8 Meter) für den Anflug auf das Flugfeld Mulhouse/Habsheim erreicht. Um 14:44 Uhr verließen die Piloten diese Flughöhe, fuhren Fahrwerk und Landeklappen aus und bereiteten den Anflug auf den Flughafen in Habsheim vor. Um 14:45:14 Uhr wurde die besprochene Flughöhe von 100 Fuß erreicht, das Flugzeug sank zu diesem Zeitpunkt, aber immer noch mit einer Sinkgeschwindigkeit von 600 Fuß/Minute. Acht Sekunden später meldete der Radiohöhenmesser eine Flughöhe von 50 Fuß. Kurze Zeit später ging das Flugzeug in einer Höhe von 30 bzw. 35 Fuß in den Horizontalflug über. Während des Sinkfluges und in weiterer Folge im Horizontalflug liefen die Triebwerke im Leerlauf bei 29% Leistung. Zwischen 14:45:34 und 14:45:35 Uhr wurden die Triebwerksregler auf volle Leistung gestellt (TO/GA, Take-Off/Go-Around). Um 14:45:40 Uhr berührte der Airbus mit dem Heck der Maschine ca. 12 Meter (39,4 Fuß) hohe Bäume 60 Meter hinter dem Ende der Landebahn 34R und sank langsam in den Wald. Die Triebwerke hatten zu diesem Zeitpunkt 83% ihrer Leistung erreicht (siehe Abbildung 35 bzw. vgl. Tabelle 6).

¹⁹⁷ Vgl. Learmount, David (1990): After Habsheim. In: Flight International. Volume 137, Number 4211, 11-17 April 1990. S. 34.

Während des Absturzes riss die rechte Tragfläche ab und Feuer brach aus. Sofort nach dem Stillstand des Flugzeuges nach ca. 300 Metern begann die Besatzung mit der Evakuierung des Airbus über die Türen der linken Seite.¹⁹⁸

Von den 136 Personen an Bord konnten sich 133 retten, davon 97 unverletzt. Drei Passagiere starben: Ein behinderter 14-jähriger Junge stirbt in seinem Sitz. Ein 7-jähriges Mädchen, das seinen jüngeren Bruder begleitete, konnte seine Sitzgurte nicht öffnen. Das dritte Opfer ist eine 42 Jahre alte Frau. Es wird angenommen, dass sie dem Mädchen helfen wollte und dabei selbst Opfer der Flammen wurde.¹⁹⁹

Laut Abschlussbericht waren folgende Faktoren für den Unfall ausschlaggebend:

- Das Flugzeug flog zu tief. Es war tiefer als die in der unmittelbaren Umgebung stehenden Hindernisse.
- Die Geschwindigkeit war zu gering und verringerte sich während des Vorbeifluges weiter. Das Flugzeug sollte nach Wunsch des Piloten mit dem höchstmöglichen Anstellwinkel bei den Zuschauern vorbeifliegen.
- Die Triebwerke liefen mit 29% ihrer Leistung im Leerlauf.
- Die Triebwerksregler wurden zu spät für das Durchstartmanöver in die Position TO/GA (Take-Off/Go-Around) geschoben. Ein Triebwerk benötigt gemäß Zulassungsnormen 8 Sekunden, um 100% Leistung zu erreichen, wobei im Allgemeinen in den ersten 3-4 Sekunden keine merkliche Steigerung erkennbar ist. Bereits nach 5 Sekunden berührte jedoch das Heck der Maschine die ersten Bäume.²⁰⁰

Gemeinsam mit den Feststellungen, dass das Flugzeug in einem einwandfreien Zustand war und dass es keine Störungen der Systeme gegeben hatte die zu diesem Unfall beigetragen haben, führte dies zu dem Urteil: „Pilotenfehler“. Das Ergebnis des Berichtes kann wie folgt zusammengefasst werden: „Zu tief, zu langsam, zu spät.“²⁰¹

Michel Asseline, Kapitän der Unglücksmaschine, und Christian Roger, Kapitän bei Air France und Präsident der Pilotengewerkschaft SNPL (Syndicat National des Pilotes de Ligne) widersprachen dem Bericht und warfen Airbus und der Re-

¹⁹⁸ Vgl. Bechet, Claude (1990a): French Report Details 1988 Crash Of A320 Following Air Show Flyby. In: Aviation Week & Space Technologie. Volume 132, No. 23, June 4, 1990. S. 107-109.

¹⁹⁹ Vgl. Bechet, Claude (1990d): Cabin Crew Evacuated A320 Passengers Until Smoke, Flames Became Too Intense. In: Aviation Week & Space Technologie. Volume 132, No. 26, June 25, 1990. S. 98.

²⁰⁰ Vgl. Bechet, Claude (1990g): Commission Proposes More Preparation, Special Training for Airshow Flyovers. In: Aviation Week & Space Technologie. Volume 133, No. 5, July 30, 1990. S. 91.

²⁰¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (1991), S. 30.

gierung Manipulation des Flugdatenschreibers (DFDR) und des Cockpit Voice Recorders vor.

Air France war Launch Customer für den Airbus A320 und dieser war gerade drei Monate im regulären Flugbetrieb, als am 26. Juni 1988 das Unglück in Habsheim passierte. Der Airbus A320 prägte wie kein anderes Flugzeug den Begriff des gläsernen Cockpits und revolutionierte die Flugtechnik mit seiner Fly-by-wire Steuerung sowie der elektronischen Triebwerksregelung. Die amerikanische Flugzeugindustrie, die bis dato den Weg vorgab, war plötzlich um Jahre zurückgeworfen. Das erste Fly-by-wire Flugzeug aus den USA – die Boeing 777 – sollte erst am 12. Juni 1994 seinen Erstflug bestehen. Airbus konnte indessen ein volles Auftragsbuch mit über 500 Bestellungen vorweisen und die Zertifizierung des Airbus A320 in den USA stand kurz vor dem Abschluss. In dieser heiklen Phase hätte ein nachweisbarer Fehler in der Flug- bzw. Triebwerkssteuerung wahrscheinlich eine nationale Katastrophe ausgelöst.²⁰²

Christian Roger wies das Gericht und die Öffentlichkeit auf folgende Ungereimtheiten bei der Untersuchung hin:

- Die Flugschreiber wurden von Claude Gérard, einem Area Manager der DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile) – jene Behörde die den Airbus A320 zertifiziert hat – kurz nach dem Unglück entgegengenommen und nach Paris gebracht. Nach französischem Recht müssen CVR und DFDR von der Polizei übernommen und unter ständiger Aufsicht des Gerichtes an unabhängige Behörden zur Auswertung weitergeleitet werden.
- Claude Gérard wurde aus einem Hubschrauber beim Abtransport von Flugschreiber und Cockpit Voice Recorder fotografiert. CVR und DFDR haben zur leichteren Auffindbarkeit unter Wasser eine orangefarbene Hülle mit weißen reflektierenden Streifen. Der DFDR, den Gérard beim Wrack des Airbus A320 entgegen nahm, hatte zum Rand rechtwinkelige weiße Streifen. Der am gleichen Abend im Fernsehen gezeigte Flugschreiber im Kofferraum des Direktors der DGAC, Daniel Tenenbaum, hatte diagonale Streifen.
- Germain Sengelin, Richter in Mulhouse, gab am 5. Juli 1988 den Auftrag zur Beschlagnahme der Black Boxes. Die beiden Geräte wurden jedoch erst am 6. Juli an das Gericht übergeben.
- Die Seriennummern von CVR und DFDR wurden nicht dokumentiert. Im Oktober 1990 gab Claude Gérard an, dass er die beiden Seriennummern (#3237 für den DFDR und #52971 für den CVR) auf einem Schmierzettel mit Bleistift notiert hätte. Erst bei der Gerichtsverhandlung im November

²⁰² Vgl. Roger, Christian (1998): The Airbus A320 crash at Habsheim, France 26 June 1988 – Why and how the flight recorder tapes were forged. S. 5.

1996 konnte er den verlangten „Originalzettel“ vorweisen. Die Zahlen waren mit Kugelschreiber auf einem sauberen weißen Blatt Papier geschrieben.

- Die Aufnahmen auf CVR und DFDR enden unmittelbar mit dem Berühren der ersten Baumreihe, obwohl der Airbus noch für ca. drei bis vier weitere Sekunden vollkommen intakt weiterflog.
- Die ausgewerteten Bänder von CVR und DFDR sind für eine Dauer von 4 Sekunden nicht synchron.²⁰³

Michel Asseline schildert in seinem 1992 erschienen Buch: « Le pilote est-il coupable? » [Ist der Pilot schuldig?] seine Sichtweise der letzten Sekunden:

- Um 12:45:23 UTC schob er die Triebwerkshebel nach vorne und schaltete die automatische Triebwerkssteuerung aus. Er hatte die Absicht, die Schubhebel auf volle Leistung zu setzen sobald er auf Höhe des Towers war.
- Um 12:45:29 UTC als er merkte, dass die Triebwerke nicht reagierten, schob er den Triebwerkshebel in die Position IDLE (Leerlauf) und dann auf TO/GA (Take-Off/Go-Around).
- Es vergingen weitere 6 Sekunden bevor auf den Primary Flight Displays die Anzeige SRS erschien (12:45:35 UTC). Dies wurde von Kopilot Pierre Mazières mit dem Ausruf « TOGA/SRS » bestätigt.
- Die erste erkennbare Steigerung der Triebwerksleistung konnten die Piloten um 12:45:37 UTC erkennen.²⁰⁴

Michel Asseline gab, sofort nachdem er das Wrack verlassen hatte, an, dass die Triebwerke nicht ordnungsgemäß beschleunigt hätten. Eine Ursache könnte ein sogenannter „Compressor Stall“ gewesen sein. Dieser tritt auf, wenn im Luftstrom, der durch die Triebwerksschaufeln geleitet wird, Turbulenzen auftreten. Charakterisiert wird dieser Strömungsabriss im Triebwerk durch zwei explosionsartige Laute. Ein Passagier und ein Flugzeugtechniker am Boden, der mit dem Geräusch eines „Compressor Stalls“ vertraut war, bestätigten die Annahmen des Piloten.²⁰⁵

In einer ersten offiziellen Abschrift (Preliminary Report) des Cockpit Voice Recorders wurde folgendes festgehalten:

²⁰³ Vgl. Roger, Christian (1998): The Airbus A320 crash at Habsheim, France 26 June 1988 – Why and how the flight recorder tapes were forged.

²⁰⁴ Vgl. Asseline, Michel (1992), S. 4-8.

²⁰⁵ Vgl. Mellor, Peter (2002): A320 crash at Habsheim.

Pilot	Inhalt	Anmerkungen
„F/O	TO G/SRS/ Go around track !	« Thirty » ! (radio sonde) Augmentation des régimes moteurs. Boum ! Boum ! [Increase in engine speed. Boom ! Boom !]
Capt.	M !	Bruits d'impact dans les arbres (2 claquements plus forts). [Noises of impact in the trees (2 louder bangs).]
- FIN DE BANDE - ²⁰⁶		

Im Abschlussbericht wurden die letzten Sekunden wie folgt dokumentiert:

Uhrzeit	Pilot	Inhalt	Anmerkungen
„12 h 45' 37" 12 h 45' 38" ³ / ₁₀	Copi	TOGA/SRS	« Thirty ! » (radiosonde).
12 h 45' 39"	Copi	Go around track.	Augmentation des Régimes moteurs. [Increase in engine speed.] Bruits d'impact dans les arbres. [Noise of impact in the trees.]
12 h 45' 39" ⁹ / ₁₀	CDB	M... !	
12 h 45' 41" ⁵ / ₁₀		FIN DE BANDE ²⁰⁷	

Christian Roger beschreibt eine weitere Diskrepanz in der Abschrift des Cockpit Voice Recorders die ebenfalls zeigen soll, dass am Band manipuliert und die letzten Sekunden gekürzt wurden: Der Airbus A320 besitzt zwei Radiohöhenmesser, die sich an der Rumpfunterseite auf der Höhe des Hauptfahrwerkes befinden. Die

²⁰⁶ Airbus Industrie (Hrsg.) [1991], S. 25.

²⁰⁷ Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) [1990a], S. 35.

Höhenmesser senden ein Funksignal senkrecht zu Boden und aus dem Echo, die von den Sensoren empfangen werden, kann die Distanz über dem Boden berechnet werden.²⁰⁸ Ab einer Flughöhe kleiner als 2.500 Fuß werden über die Flight Warning Computer (FWC) Ansagen der aktuellen Flughöhe durch eine synthetische Stimme über die Lautsprecher im Cockpit generiert. Diese Meldungen werden beim Erreichen folgender Höhen generiert: 2.500 Fuß, 2.000 Fuß, 1.000 Fuß, 500 Fuß, 400 Fuß, 300 Fuß, 200 Fuß, 100 Fuß, 50 Fuß, 40 Fuß, 30 Fuß, 20 Fuß, 10 Fuß und 5 Fuß. Fliegt ein Flugzeug in Höhen kleiner als 2.500 Fuß geradeaus, so werden die Durchsagen der aktuellen Flughöhe über 50 Fuß alle 11 und darunter alle 4 Sekunden wiederholt.²⁰⁹

Laut Abschrift des Cockpit Voice Recorder sind in der letzten Flugphase drei Ansagen für das Erreichen und Beibehalten einer Höhe von 30 Fuß ausgelöst worden:

Uhrzeit	Pilot	Inhalt	Anmerkungen
„12 h 45' 35“ ³ / ₁₀			« Thirty » (radiosonde).
12 h 45' 36“ ² / ₁₀			« Thirty » (radiosonde).
12 h 45' 37“	Copi	TOGA/SRS	
12 h 45' 38“ ³ / ₁₀			« Thirty ! » (radiosonde).
12 h 45' 39“	Copi	Go around track.“ ²¹⁰	

Während gemäß Betriebshandbuch des Airbus A320 zwischen der ersten und dritten Ansage 8 Sekunden vergehen müssten²¹¹, sind auf dem Cockpit Voice Recorder lediglich 3 Sekunden vergangen.²¹²

Nach weiteren Vorwürfen in Printmedien und Fernsehen, publizierte Airbus Industrie das Dokument „The A320 Habsheim accident – An Airbus Industrie response to allegations made in television programmes and other media“.²¹³ In dieser 77-seitigen Power Point Präsentation werden Anschuldigungen widerlegt und die korrekte Funktion der Systeme untermauert. Airbus beruft sich auf den offiziellen Abschlussbericht von Claude Bechet und zeigt auf, warum die Aussagen von z.B. Christian Roger oder Michel Asseline falsch sein müssen und wie diese durch die Auswertung des DFDR widerlegt werden können. Airbus geht jedoch nicht auf die

²⁰⁸ Vgl. Pletschacher, Peter (1988): Ein A320 stürzt ab: Hat der Pilot versagt, oder ist die Technik noch nicht sicher genug? In: P.M. Heft 9/1988. S. 8.

²⁰⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.34.40 P 1 – 1.34.40 P 2.

²¹⁰ Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) (1990a), S. 35.

²¹¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.34.40 P 2.

²¹² Vgl. Roger, Christian (1998): The Airbus A320 crash at Habsheim, France 26 June 1988 – Why and how the flight recorder tapes were forged. S. 41-43.

²¹³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (1991).

Anschuldigen ein, dass am Digital Flight Data Recorder und Cockpit Voice Recorder manipuliert worden sein könnte.

Michel Asseline wurde nach dem Unfall suspendiert und verlor wenig später seine Fluglizenz. Er löste eine amerikanische Lizenz und flog zwischenzeitlich Privatflugzeuge und kleine Jets. Asseline wurde 1997 zu 6 Monaten unbeding und weiteren 12 Monaten auf Bewährung verurteilt. In der Berufungsverhandlung 1998 wurde das Urteil auf 10 Monate unbeding und 10 Monate auf Bewährung revidiert. Nach verbüßen seiner Haftstrafe wurde Michel Asseline Leiter der Schulung der französischen Fluggesellschaft Air Lib (vormals Air Liberté) und war dort für die Einführung des Airbus A321 verantwortlich.

Pierre Mazières sprach nie in der Öffentlichkeit über dieses Unglück. Er wurde nach dem Unfall zwei Monate suspendiert und kehrte dann zu Air France zurück, wo er seine Berufslaufbahn als Kapitän auf der Boeing 747 beendete. Er verließ 1996, kurz vor Beginn des Prozesses, das Unternehmen, nachdem seine Lizenz aus medizinischen Gründen nicht mehr verlängert wurde. Mazières wurde zu 12 Monaten auf Bewährung verurteilt und nahm dieses Urteil an.

4.2.2 Bangalore (Indien), 14. Februar 1990

Ein Airbus A320 der Indian Airlines mit der Registrierung VT-EPN war im Endanflug auf den Flughafen der südindischen Stadt Bangalore (VOBG), als er ca. 700 Meter vor der Landebahn auf einem Golfplatz aufschlug und in Flammen aufging. Beide Piloten, zwei Besatzungsmitglieder und 88 Passagiere kamen bei dem Unfall am 14. Februar 1990 ums Leben. Es gab 54 Überlebende.

Der Unfall ereignete sich bei ausgezeichneten Wetterbedingungen – die Piloten meldeten Sicht auf die Landebahn aus einer Entfernung von 11,2 Kilometer – um 13:00:42 Uhr Ortszeit. Da der Flughafen für Anflüge aus Richtung Westen nicht mit einem Instrumentenlandesystem (ILS) ausgestattet war, erfolgte der Anflug manuell mittels VOR Funkfeuer, einem Entfernungsmessgerät DME sowie einem visuellen Anflugsystem. Dieser Visual Approach Slope Indicator (VASI) steht seitlich am Beginn der Runway und zeigt den Piloten optisch den korrekten Anflugwinkel auf die Landebahn 09 des Flughafens an. Bei einer Routinekontrolle in der Früh konnten keine Defekte an der Anlage festgestellt werden.²¹⁴

Nach weiteren kleinen Zwischenfällen erließ die indische Regierung am 18. Februar 1990 ein generelles Startverbot für alle Airbus A320 der Indian Airlines. 14

²¹⁴ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 1.

Flugzeuge wurden dadurch gegroundet.²¹⁵ Bei der Unfalluntersuchung, in die üblicherweise der Hersteller der verunglückten Maschine hinzugezogen wird, wurde Airbus Industrie lange Zeit ausgesperrt. In einem Telegramm an die indische Regierung warnte der französische Unglückspilot Michel Asseline vor einer Auswertung des Flugdatenschreibers (Digital Flight Data Recorder) in Frankreich.²¹⁶ Die Auswertung, die nun in Kanada vorgenommen wurde, bestätigte technische Fehler des Flugzeuges jedoch nicht. Vielmehr gerieten die beiden Piloten sowie die Sicherheitseinrichtungen von Bangalore und Indian Airlines selbst ins Kreuzfeuer der Kritik.²¹⁷ Im Abschlussbericht des Indian Director General of Civil Aviation (DGCA) vom 3. Dezember 1990 ist von einem Anflug unterhalb des normalen Gleitpfades die Rede. Den Piloten wird vorgeworfen, im Endanflug nicht auf die Geschwindigkeitsanzeige geachtet und das Durchstartmanöver viel zu spät eingeleitet zu haben.²¹⁸

Das Flugzeug, mit der Seriennummer 079, wurde am 22. Dezember 1989 an Indian Airlines ausgeliefert und war bis zum Unglück insgesamt 366 Stunden und 55 Minuten in Betrieb.²¹⁹ Der Airbus startete mit 146 Personen an Bord um 11:58 Uhr in Bombay und hatte die Flugnummer IC 605. Der Flug war, bis auf die letzten Sekunden, ohne nennenswerte Ereignisse. Um 13:03:17 Uhr berührte der Airbus 2.300 Fuß (701 Meter) vor der Landebahnschwelle mit dem Hauptfahrwerk den Boden eines Golfplatzes der Karnataka Golf Association. Das Flugzeug hob wieder ab und setzte erneut nach 230 Fuß (70,1 Meter) auf dem 17. Grün des Platzes auf. Kurze Zeit später kollidierte der Airbus mit einem Erdwall was zum Abtrennen beider Triebwerke und des Fahrwerkes führte. Das Flugzeug kam schließlich 150 Fuß (45,7 Meter) vor der Flughafenmauer zum Stillstand. Ein Teil der Passagiere konnte mit Unterstützung von zwei Flugbegleiterinnen das Flugzeug über die hintere linke Türe verlassen, während im vorderen Teil der Kabine Feuer ausbrach.²²⁰

Kapitän C. A. Fernandez, 46 Jahre, der auf dem linken Sitz saß, machte auf diesem Flug seinen ersten Route Check. Er hatte eine Flugerfahrung von 9.307 Stunden davon 46 Stunden auf dem Airbus A320. Davor war er als Kapitän auf einer Boeing 737 und Hawker Siddeley HS 748 tätig. Der Checkpilot, Kapitän S.

²¹⁵ Vgl. Thomalla, Volker K. (1990): Indian will Airbus verkaufen. In: Flug Revue. Nr. 7, Juli 1990. S. 63.

²¹⁶ Vgl. Morgenstern, Karl; Dietmar Plath (1992), S. 78.

²¹⁷ Vgl. Thomalla, Volker K. (1990): Indian will Airbus verkaufen. In: Flug Revue. Nr. 7, Juli 1990. S. 63.

²¹⁸ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (1991), S. 33.

²¹⁹ Vgl. Lenorovitz, Jeffrey M. (1990): Indian A320 Crash Probe Data Show Crew Improperly Configured Aircraft. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 132, No. 26, June 25, 1990. S. 85.

²²⁰ Vgl. Gopal, P. (2000): Analysis of factors leading to pilot error accidents in civil aviation. In: Indian Journal of Aerospace Medicine. Volume 44, Issue 1, 2000. S. 36.

S. Gopujkar, 44 Jahre alt, war seit September 1989 autorisiert, mit diesem Flugzeugtyp Flüge im Kommandantenstatus durchzuführen. Er war ausdrücklich von einer Regelung befreit, die ein Minimum von 100 Stunden Flugerfahrung als First Officer auf dem Airbus A320 verlangte. Seine Flugerfahrung auf Boeing 737, Hawker Siddeley HS 748 und Airbus A320 betrug 10.339 Stunden. Er flog 48 Stunden als First Officer auf dem Airbus A320 und hatte 212 Flugstunden Erfahrung als Kommandant auf diesem Flugzeugtyp.²²¹

Die Auswertung des Flugschreibers (DFDR) und Cockpit Voice Recorders (CVR) machen deutlich, dass die Piloten erst sieben Sekunden vor dem Unfall realisierten, dass sie zu tief und zu langsam geflogen sind:

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:00:42	Check Pilot	“Runway in sight.” (Autopilot disconnect “cricket” sounds three times.) ²²²

Um 13:00:42 Uhr wurde nach dem Sichten der Landebahn der Autopilot deaktiviert.

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:01:36	Check Pilot	“Speed, ALT*.”
13:01:40	Check Pilot	“Speed, ALT*.” ²²³

Um 13:01:33 Uhr wurde der sogenannte „Altitude Capture Mode“, zum automatischem Erfiegen und Halten einer vorgewählten Höhe, aktiviert – dies wurde durch den Check Piloten mit den Worten “Speed, ALT*.” bestätigt. Der „Altitude Capture Mode“ wurde in einer Flughöhe von 4.983 Fuß (1.518,8 Meter) aktiviert, was darauf schließen lässt, dass eine Flughöhe von 4.600 Fuß über die Flight Control Unit (FCU) vorselektiert wurde.

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:01:54	Pilot Flying Check Pilot	“Vertical speed.” “How much?”

²²¹ Vgl. Gaines, Mike (1990): Analysis: An Inevitable Incident. In: Flight International. Volume 137, Number 4214, 2-8 May 1990. S. 20.

²²² Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

²²³ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

13:01:56 Pilot Flying "Thousand."
 Check Pilot "Thousand."²²⁴

Der Anflug erfolgte ca. 600 Fuß (182,8 Meter) höher als der vorgeschriebene Gleitpfad. Normalerweise ist eine Sinkrate von 700 Fuß (213,3 Meter) pro Minute im Endanflug vorgeschrieben. Da der Airbus aber höher anflug, entschieden sich die Piloten mit einer Sinkrate von 1.000 Fuß (304,8 Meter) pro Minute zu sinken. Aufgrund des steileren Anfluges erhöhte sich die Geschwindigkeit auf 148 Knoten (274 km/h). Die Zielgeschwindigkeit für den Endanflug beträgt 132 Knoten (244 km/h).²²⁵

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:02:08	Check Pilot	"Tower, India 605, confirm cleared to land?"
	Pilot Flying	"Go around, 6,000."
13:02:11	Tower	"605, report short finals."
13:02:13	Check Pilot	"We are short finals."
13:02:17	Tower	"Roger, cleared to land."
13:02:19	Check Pilot	"Cleared to land, 605." ²²⁶

Der Airbus erhielt um 13:02:17 Uhr die Landeerlaubnis. Das Flugzeug war zu diesem Zeitpunkt noch knapp über dem Gleitpfad.

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:02:42	Pilot Flying	"OK, 700 feet rate of descent."
	Check Pilot	"Missed approach is ..."
13:02:49		(Radio Altimeter call out "Four Hundred.")
13:02:53	Check Pilot	"You are descending on idle open descend ha, all this time."
		(Radio Altimeter call out "Three Hundred.") ²²⁷

Der Untersuchungsbericht geht davon aus, dass statt einer Sinkrate von 700 Fuß, eine zu erreichende Flughöhe über die Flight Control Unit eingegeben wurde. Da die augenblickliche Flughöhe höher als die vorselektierte

²²⁴ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

²²⁵ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 3.

²²⁶ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

²²⁷ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

war, änderte sich die automatische Triebwerkssteuerung von „SPEED/MACH Mode“ auf „THRUST IDLE Mode“. Da die Triebwerke nun im Leerlauf liefen, sank die Geschwindigkeit rasch unter die vorgeschriebenen 132 Knoten. Dadurch reduzierte sich auch die Flughöhe unter jene des vorgeschriebenen Anflugwinkels. Dies wurde, ausgelöst von der Warnung des Radiohöhenmessers, durch den Check Piloten um 13:02:53 Uhr bemerkt.²²⁸

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:02:56	Check Pilot	“You want the FDs [Flight Directors] off now?”
13:02:57	Pilot Flying	“Yes.”
	Pilot Flying	“OK, I already put it off.”
13:03:00	Check Pilot	“But you did not put off mine.”
13:03:03		(Radio Altimeter call out “Two Hundred.”)
13:03:07	Check Pilot	“You are on the autopilot still?”
13:03:09	Pilot Flying	“No.”
	Check Pilot	“It's off.” ²²⁹

In den nächsten 13 Sekunden werden Ursachen für den Triebwerksleerlauf gesucht. Keiner der Piloten beachtet die Geschwindigkeitsanzeige die augenblicklich eine Fahrt von ca. 120 Knoten (222 km/h) anzeigt.²³⁰

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
13:03:10	Pilot Flying	“Hey, we are going down.”
13:03:11	Check Pilot	“Oh Shit.”
		(Radio Altimeter callout “One Hundred.”)
	Pilot Flying	“Captain.”
13:03:12	Pilot Flying	“Captain, still going.”
13:03:13		(Sink rate warning.)
13:03:14		(Chime.)
13:03:15		(Sink rate warning and Radio Altimeter call out “Fifty.”)
13:03:16		(Sink rate warning and Radio Altimeter call out “Ten.”)
13:03:17		(Crash sounds.) ²³¹

²²⁸ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 4.

²²⁹ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

²³⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (1991), S. 35.

Um 13:03:11 Uhr zog der Kapitän (Pilot Flying) seinen Sidestick vollständig zurück und aktivierte damit die sogenannte „α FLOOR Protection“. Dieser Modus, der vor allem bei gefährlichen Scherwinden während der Start- und Landphase genutzt wird, ermöglicht den Piloten ein maximales Anheben der Flugzeugnase während der Computer gleichzeitig die Triebwerksleistung erhöht um einen Strömungsabriss zu verhindern. Zwei Sekunden später schoben die Piloten die Triebwerksregler in die TO/GA (Take-Off/Go-Around) Position um die Triebwerke auf die maximale Leistung zu erhöhen. 8 Sekunden später, um 13:03:21 Uhr hätten die Triebwerke ihren maximalen Schub erreicht, wozu es aber nicht mehr kam.²³²

Der Unfallbericht spart auch nicht mit Kritik an der Infrastruktur des Flughafens in Bangalore für den es z.B. keinen Notfallplan gegeben hat. Der Flughafen wurde zuletzt am 23. September 1960 von den indischen Behörden lizenziert. Diese Lizenz ist allerdings bereits 1961 wieder abgelaufen.²³³

Der Fluglotse im Tower löste erst 21 Sekunden nach dem Unfall, und erst als er von einem Piloten einer anderen Indian Airlines Maschine informiert wurde, Alarm aus. Da der Tower keinen Funkkontakt mit der Flughafenfeuerwehr hatte, wusste die Feuerwehr nicht wo es brennt und fuhr daher zuerst auf das Vorfeld Richtung Tower. Erst als sie das Feuer erkennen konnten, fuhren sie weiter Richtung Unfallort, der ca. 1.500 Meter entfernt war. Auf dem Weg dorthin mussten schlecht gewartete Straßen und ein ca. 90 Zentimeter hoher Erdwall im Schrittempo überfahren werden. Als die Feuerwehr schließlich sechs Minuten nach dem Unfall beim Sicherheitstor der Flughafenmauer eintraf, war dieses versperrt und der Schlüssel nicht auffindbar. Während zwei Feuerwehrleute mit einer Bergeschere versuchten das Tor aufzubrechen, begann die Feuerwehr mit dem versprühen des Löschschaumes über die Flughafenumzäunung. Nachdem das Flugzeug 45 Meter vor der Mauer zum Stillstand kam, konnte der Strahl der Löschspritze nur den vorderen Teil der Maschine erreichen.

Das verrostete Tor konnte erst durch Kraftanstrengung von 20 Personen geöffnet werden und es dauerte schließlich 15-20 Minuten bis die Feuerwehrautos (eines musste zur Unfallstelle geschoben werden) das mittlerweile im Vollbrand stehende Wrack des Airbus A320 erreichten. Eine Flughafen-Ambulanz traf zwar

²³¹ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 6.

²³² Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 4.

²³³ Vgl. Gaines, Mike (1990): Analysis: An Inevitable Incident. In: Flight International. Volume 137, Number 4214, 2-8 May 1990. S. 21.

nach sechs Minuten am Unfallort ein, hatte aber weder Ärzte oder Sanitäter, noch Verbandsmaterial im Fahrzeug.²³⁴

Als in den ersten Wochen der Golfkrise tausende indische Gastarbeiter aus Kuwait nach Jordanien flohen und dort auf Transportmöglichkeiten in ihre Heimat warteten, erhielt die Gesellschaft von der indischen Regierung – die Eigentümerin von Indian Airlines ist – die Erlaubnis, für die Heimholflüge den Airbus A320 einzusetzen. Nach dem Rücktritt des Ministerpräsidenten Vishwanath Pratap Singh, der das Startverbot ausgesprochen hatte, durften die A320 ab November 1990 nach und nach wieder in den Liniendienst aufgenommen werden.²³⁵



Abbildung 36: Anpassung der Geschwindigkeitsskala im PFD (Primary Flight Display). Am gelben Indexstrich in der Mitte der Geschwindigkeitsskala (im PFD links dargestellt) kann die tatsächliche Geschwindigkeit abgelesen werden. In der neuen Darstellung (rechts) wird der Strich durchgängig und dicker abgebildet. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Einer der Hauptkritikpunkte in Bezug auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle, der schlechten Ablesbarkeit der Geschwindigkeit, trug Airbus Industrie Rechnung und modifizierte das Primary Flight Display (PFD). Der gelbe Indexstrich in der Mitte der Geschwindigkeitsskala (im PFD links dargestellt) ist nicht nur dicker, sondern auch länger geworden. Es soll somit optisch besser erkennbar sein, wo die tatsächliche Geschwindigkeit abzulesen ist (siehe Abbildung 36).²³⁶

²³⁴ Vgl. Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Vol. 51, No. 1, January 1994. S. 5-6.

²³⁵ Vgl. Thomalla, Volker K. (1991): A320 fliegt wieder in Indien. In: Flug Revue. Nr. 1, Januar 1991. S. 34.

²³⁶ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 106-107.

4.2.3 Sydney (Australien), 12. August 1991

Mit der Einführung der Fly-by-wire Steuerung ersetzte Airbus die klassische Steuersäule vor dem Piloten durch einen seitlich angeordneten Sidestick. Als wesentlichen Nachteil empfinden die Piloten dabei, dass diese Sidesticks – anders als die klassischen Steuersäulen – weder miteinander, noch mit dem Auto Flight System (AFS) verbunden sind und nur als Eingabegeräte genutzt werden können. Damit entfällt jede Kontrolle dessen, was der andere Pilot gerade steuert.²³⁷ Boeing ist hier konventioneller und baut selbst in seinen modernen Fly-by-wire Flugzeugen, wie z.B. der Boeing 787 Dreamliner, nach wie vor Steuersäulen, die sowohl miteinander, als auch mit dem Autopiloten verbunden sind, ein. In einem Boeing Flugzeug muss der Pilot für die Flugüberwachung nicht auf seine Instrumente achten. Er legt einfach seine Hand auf das Steuerhorn, kann nebenbei aus dem Fenster schauen – um z.B. den Verkehr oder das Wettergeschehen zu beobachten – und dennoch genau fühlen, wie der Autopilot oder sein Kopilot das Flugzeug steuert.

Folgender Zwischenfall ereignete sich am 12. August 1991 in Sydney.²³⁸

Um die Kapazität auf dem Flughafen Sydney/Kingsford Smith zu erhöhen, wurden im sogenannten SIMOPS Betrieb (Simultaneous Runway Operations) die zwei sich kreuzenden Landebahnen von der australischen Luftaufsichtsbehörde zu zwei völlig unabhängigen Landebahnen erklärt. Flugzeuge, die auf der Landebahn 34 (heute 34L) landeten, wurden aufgefordert, die kreuzende Landebahn 25 nicht zu überqueren (vgl. Abbildung 37).

Um 10:23:39 EST (Eastern Standard Time) landete eine aus Bangkok kommende McDonnell Douglas DC-10 Series 30ER der Thai Airways International (HS-TMC) auf der Landebahn 34 des Flughafens. An Bord waren 167 Passagiere und 16 Besatzungsmitglieder. Die Piloten der DC-10 wurden angewiesen ihr Flugzeug vor dem Kreuzen der Landebahn 07/25 anzuhalten. Zur selben Zeit befand sich ein aus Brisbane kommender Airbus A320-211 der Ansett Australia (VH-HYC) mit 110 Personen an Bord, im kurzen Endanflug auf die Landebahn 25. Am Rollweg Victor (heute Rollweg Alpha), nördlich der Runway 25 und westlich der Runway 34, wartete eine mit 372 Personen besetzte Boeing 747 der Qantas Airways auf die Landung des Airbus, um danach die Piste 07/25 zu queren.

²³⁷ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 112-113.

²³⁸ Vgl. Bureau of Air Safety Investigation (BASI) (Hrsg.) (1993).

Um 10:23:57 EST überflog der Airbus die Landebahnswelle und der Kopilot begann mit dem Einleiten der Landung, während der Kapitän das Bremsmanöver der DC-10 beobachtete.

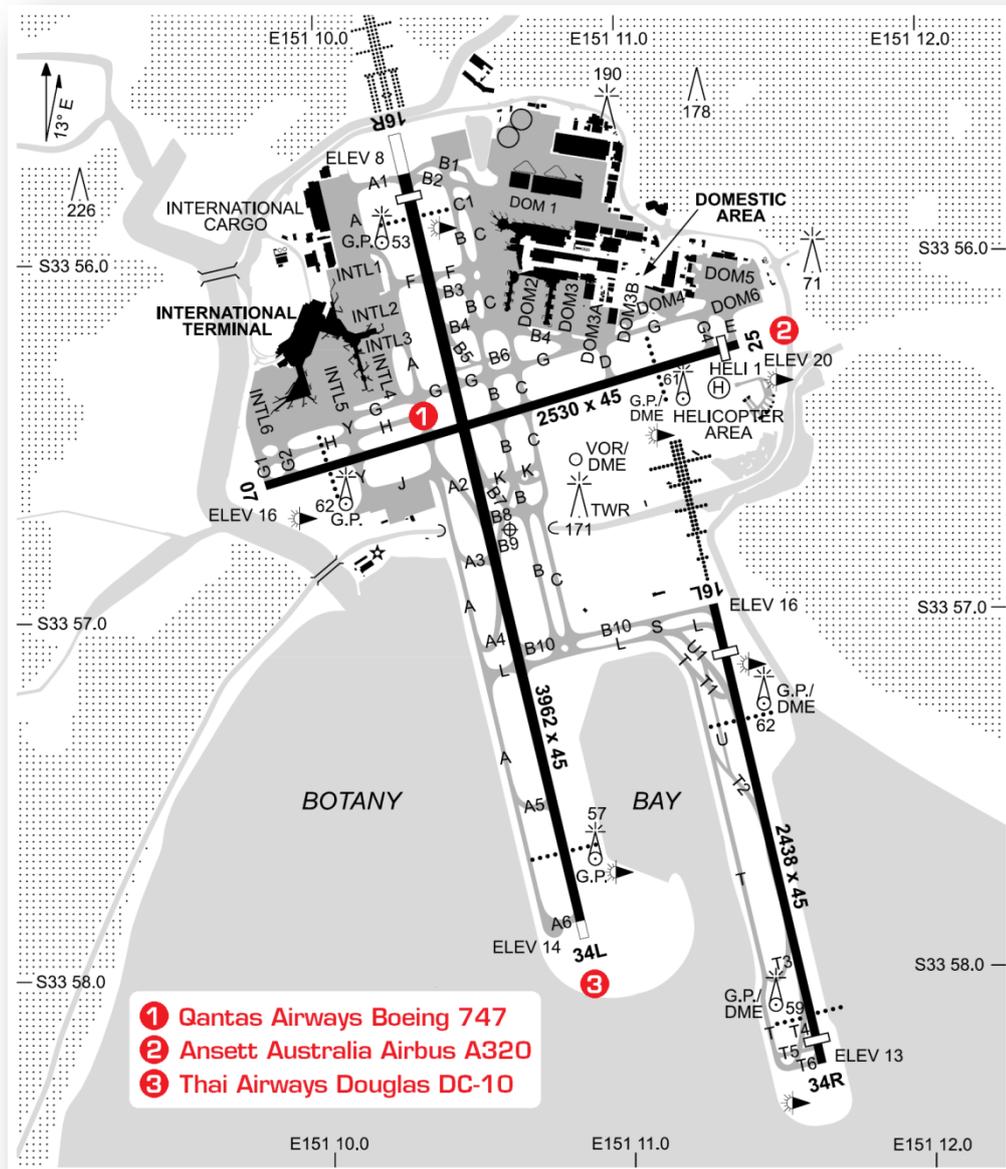


Abbildung 37: Übersichtskarte Flughafen Sydney/Kingsford Smith, Australien. Zum Zeitpunkt des Zwischenfalles gab es die Landebahn 16L/34R (rechts unten) noch nicht. Die heutige Piste 16R/34L hieß damals 16/34. (Quelle: Airservices Australia, Stand: 4. Juni 2009)

Um 10:24:02 EST erkannte der Fluglotse, dass die DC-10 zu schnell unterwegs war und forderte die Besatzung zu einer sofortigen Bremsung der Maschine auf.

Um 10:24:04 EST entschied sich der Kapitän des Airbus A320 für ein Durchstartmanöver, meldete dies an seinen Kopiloten mit den Worten „Going around“ und zog an seinem Sidestick.²³⁹

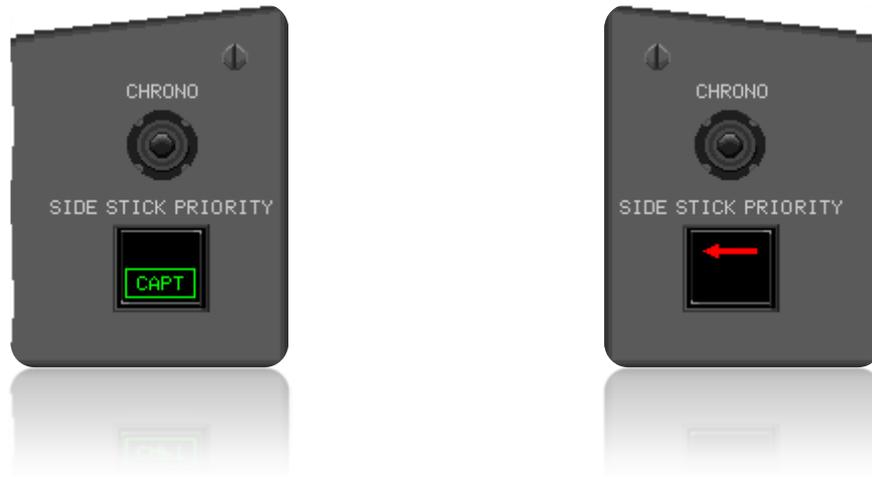


Abbildung 38: Side Stick Priority Anzeige im Glareshield. Drückt einer der Piloten den Priority Druckschalter auf seinem Sidestick, dann wird dies beiden Besatzungsmitgliedern entsprechend angezeigt. Eine synthetische Stimme informiert zusätzlich mit einer entsprechenden Meldung (z.B. „PRIORITY LEFT“). (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Eine Auswertung des Digital Flight Data Recorders (DFDR) hat ergeben, dass es während der folgenden 12 Sekunden zu Doppeleingaben über den Sidestick gekommen ist. Während der Kapitän durch ziehen am Sidestick die Nase für das Durchstartmanöver des Fliegers hochzog, versuchte der Kopilot durch Drücken des Sidesticks das Flugzeug zu landen.²⁴⁰ Da die beiden Sidesticks nicht miteinander verbunden sind, können die beschriebenen Doppeleingaben auftreten bzw. vorkommen. In diesem Fall werden die Eingangssignale algebraisch addiert. Lenken beide Piloten gleichzeitig ihren Sidestick in dieselbe Richtung aus, werden die Eingangssignale solange addiert, bis der Maximalausschlag der durch einen Sidestick möglich ist, erreicht wurde. Lenkt ein Pilot den Sidestick z.B. um 5 Grad noch vorne und der andere seinen Sidestick um 5 Grad nach hinten aus, so heben sich die Eingangssignale auf und das Flugzeug fliegt gerade aus weiter. Möchte einer der Flugzeugführer, dass seine Steuersignale bevorzugt werden, so kann er durch Drücken des „Take Over“ Druckschalters am Sidestick seine Eingangssignale priorisieren – die Signale des anderen Sidesticks werden ignoriert (vgl. Abbildung 38).²⁴¹ In diesem Fall hatte aber keiner der beiden Airbuspiloten den Prioritätsschalter betätigt.

²³⁹ Vgl. Bureau of Air Safety Investigation (BASI) (Hrsg.) (1993), S. 3.

²⁴⁰ Vgl. Bureau of Air Safety Investigation (BASI) (Hrsg.) (1993), S. 8.

²⁴¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.40 P 3 – 1.27.40 P 4.

Um 10:24:14 EST überflog der Airbus A320 in 15,85 Meter Höhe die in die Landebahn 07/25 hineinragende DC-10. Der Abstand zwischen den Flugzeugen bei der Querung betrug lediglich 11 (\pm 2) Meter.²⁴²

Airbus hat mittlerweile die Gefahr der Doppeleingaben über den Sidestick erkannt und Verbesserungen implementiert. Werden beide Sidesticks zugleich um mehr als 2 Grad für die Dauer von mindestens 500 Millisekunden ausgelenkt und hat kein Pilot den „Take Over“ Druckschalter gedrückt, so blinken direkt im Blickfeld der Piloten die Side Stick Priority Lämpchen im Glareshield (siehe Abbildung 39). Zusätzlich warnt eine synthetische Stimme alle 5 Sekunden mit den Worten „DUAL INPUT“.²⁴³



Abbildung 39: Anzeige für einen „Dual Input“. Im Glareshield blinken beide Lämpchen der Side Stick Priority Anzeige. Eine synthetische Stimme warnt zusätzlich mit den Worten „DUAL INPUT“.
(Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Eine Simulation des Vorfalls hat ergeben, dass eine Landung des Airbus unweigerlich zu einer Kollision mit der DC-10 und der vollbetankten Boeing 747 geführt hätte.²⁴⁴

4.2.4 Straßburg (Frankreich), 20. Jänner 1992

Am 20. Jänner 1992 verunglückte gegen 19:20 Uhr am Berg La Bloss – südlich des Mont Sainte-Odile – bei Straßburg ein Airbus A320 der französischen Inlandsfluggesellschaft Air Inter mit der Registrierung F-GGED. Am 26. November

²⁴² Vgl. Bureau of Air Safety Investigation (BASI) (Hrsg.) (1993), S. 3-4.

²⁴³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2004), S. 4-8.

²⁴⁴ Vgl. Bureau of Air Safety Investigation (BASI) (Hrsg.) (1993), S. 9.

1993 legte der Untersuchungsausschuss unter der Leitung von Alain Monnier dem französischen Verkehrsministerium den Abschlussbericht vor.²⁴⁵

Der Airbus war mit der Flugnummer ITF 148 von Lyon nach Straßburg unterwegs. Kapitän Christian Hecquet war 42 Jahre alt und hatte eine Flugerfahrung von 8.806 Stunden, davon 162 Stunden auf dem A320. Sein Kopilot Joel Cherubin war 37 Jahre alt und konnte auf eine Erfahrung von 3.615 Stunden, davon 61 Flugstunden auf dem A320, verweisen. Das Flugzeug mit der Seriennummer O15 hatte seinen Erstflug am 04.11.1988, war bis zum Absturz 6.316 Stunden in Betrieb und hatte dabei 7.194 Starts und Landungen durchgeführt. Die Wetterbedingungen über dem Flughafen in Straßburg-Entzheim waren zufriedenstellend. Der Himmel war in 1.100 Fuß zu 3/8 und in 2.600 Fuß zu 6/8 bedeckt – die Sichtweite betrug 10 Kilometer. Die Berge an der Unglücksstelle waren durch Wolken verdeckt und in der Nacht fiel Schnee. An Bord des Airbus A320-111 befanden sich 90 Passagiere und 6 Besatzungsmitglieder, von denen neun – teilweise schwerverletzt – den Absturz überlebten.²⁴⁶

Der im Heck eingebaute Flugschreiber (DFDR) wurde durch den Absturz und das anschließende Feuer so stark beschädigt, dass die Aufzeichnungsbänder geschmolzen waren. Für die Untersuchungskommission sollte es sich aber als Glück erweisen, dass Air Inter ihre Flugzeuge mit einem Schlumberger Quick Access Recorder (QAR) ausgestattet hatte. Dieses völlig ungeschützte Gerät zeichnet dieselben Daten wie der Digital Flight Data Recorder auf und wird von den Airlines normalerweise nur dazu genutzt, den technischen Zustand ihrer Flugzeuge zu kontrollieren.²⁴⁷ Der Cockpit Voice Recorder, mit dem alle Geräusche im Cockpit aufgenommen werden, wurde beim Absturz ebenfalls schwer beschädigt, allerdings überstand das Band den Brand. Da die Piloten kein Headset benutzten, war jedoch die Aufzeichnungsqualität der wiedergegebenen Gespräche teilweise mangelhaft.²⁴⁸

Während der Untersuchung konnten keine Hinweise auf ein technisches Versagen des Flugzeuges oder eines Fehlverhaltens der Computersysteme gefunden werden. Die Auswertung der Unglücksmaschine und der rekonstruierten Daten zeigte, dass der Airbus beim Anflug auf die Landebahn 05 des Flughafens Straßburg-Entzheim – der zum damaligen Zeitpunkt nur in der entgegengesetzten Landebahnrichtung 23 mit einem Instrumentenlandesystem (ILS) ausgestattet war –

²⁴⁵ Vgl. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (1993).

²⁴⁶ Vgl. Thomalla, Volker K. (1992): Warum gab Airbus-Crew falsche Sinkrate ein? A320-Unfall: Offene Fragen nach Abschluß der Untersuchung. In: Flug Revue. Nr. 5, Mai 1992. S. 36.

²⁴⁷ Vgl. Lenorovitz, Jeffrey M. (1992a): A320 Crash in France: French Investigators Seek Cause of Rapid Descent. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 136, No. 4, January 27, 1992. S. 32.

²⁴⁸ Vgl. Thomalla, Volker K. (1992): Warum gab Airbus-Crew falsche Sinkrate ein? A320-Unfall: Offene Fragen nach Abschluß der Untersuchung. In: Flug Revue. Nr. 5, Mai 1992. S. 36.

eine viel zu hohe Sinkrate hatte. Statt mit rund 800 Fuß pro Minute zu sinken, näherte sich das Flugzeug mit 3.300 Fuß pro Minute (ca. 16,8 m/sec) dem Erdboden und kollidierte in ungefähr 800 Meter Höhe mit dem Berg La Bloss, 19,5 Kilometer südwestlich des Flughafens.²⁴⁹ Weder in der Passagierkabine, noch im Cockpit gab es Anzeichen für die drohende Gefahr. Erst eine Sekunde vor dem Aufschlag meldete der Radiohöhenmesser plötzlich eine Flughöhe von nur 200 Fuß und gab somit einen Hinweis auf die zu geringe Flughöhe.²⁵⁰ Wie kam es zu diesem Unglück?

Auf der Flight Control Unit (FCU), die im Glareshield über der Mittelkonsole untergebracht ist, können die Piloten zwischen zwei verschiedenen Sinkflug-Betriebsarten wählen. Sie können den Anflugwinkel (Flight Path Angle, FPA) oder die Sinkfluggeschwindigkeit in Fuß pro Minute (Vertical Speed, V/S) einstellen. Die Unfallkommission hat festgestellt, dass die Flugzeugführer einen Gleitpfad von 3,3 Grad eingeben wollten, aber eine Sinkflugrate von 3.300 Fuß pro Minute programmierten. Die Eingabe -3,3 bedeutet in der FPA-Betriebsart einen Anflugwinkel von -3,3 Grad (das entspricht etwa 800 Fuß pro Minute), im anderen Modus – der per Knopfdruck ausgewählt werden kann – aber eine Sinkgeschwindigkeit von -3.300 ft/min (siehe Abbildung 40).²⁵¹ Diese Annahme wird auch von der Abschrift des Cockpit Voice Recorders bestätigt, in der der Kapitän beim Anflugbriefing – 5 Minuten und 24 Sekunden vor dem Aufprall – sagt:

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
19:15:09	Pilot Flying	<i>„La percée se fait sur zéro cinquante c'est un plan de trois virgule cinq euh cinq virgule cinq... ça fait... trois degrés trois.“</i> ²⁵²

[Der Anflug muss mit 050 Grad und einem Anflugwinkel von 3,5 äh 5,5... das sind... 3,3 Grad gemacht werden.]

Nicht klar ist, warum die Piloten ihre Fehleingabe nicht bemerkten. Zum einen gibt es in der Flight Control Unit eine Anzeige die auf die jeweilige Betriebsart hinweist. Andererseits wird auf dem Primary Flight Display (PFD) – direkt im Blickfeld der Piloten – angezeigt, welche Sinkflugbetriebsart gewählt wurde. Im V/S-Modus stehen über dem künstlichen Horizont in grüner Schrift die Abkürzungen

²⁴⁹ Vgl. Lenorovitz, Jeffrey M. (1992b): Confusion Over Flight Mode May Have Role in A320 Crash. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 136, No. 5, February 3, 1992. S. 29.

²⁵⁰ Vgl. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (1993), Chapitre 1.1.

²⁵¹ Vgl. Thomalla, Volker K. (1992): Warum gab Airbus-Crew falsche Sinkrate ein? A320-Unfall: Offene Fragen nach Abschluß der Untersuchung. In: Flug Revue. Nr. 5, Mai 1992. S. 36-37.

²⁵² Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (1993), Annexe 8.

V/S und HDG, während beim Gleitpfad-Modus an selber Stelle FPA und TRACK zu lesen ist. Außerdem zeigt der Flight Director in der Betriebsart Vertical Speed auf dem Primärbildschirm ein grünes Kreuz, während im anderen Modus ein Flugzeugsymbol dargestellt wird.²⁵³

Die Untersuchungskommission kritisiert in ihrem Abschlussbericht ausdrücklich das Cockpit Design und forderte Airbus auf die Ergonomie zu verbessern.²⁵⁴ Zwei weitere Ziffern in der Anzeige sollen heute eine Verwechslung zwischen Sinkrate (V/S) und Gleitwinkel (FPA) unmöglich machen (siehe Abbildung 41).



Abbildung 40: Flight Control Unit (FCU) – Alte Version. Im Glareshield befinden sich die Anzeigen für den Autopiloten (Flight Control Unit). Über einen Druckknopf in der Mitte des Displays kann zwischen den zwei Betriebsarten Flight Path Angel (FPA, oben) und Vertical Speed (V/S, unten) unterschieden werden. Im Modus V/S bedeutet die Anzeige -33, dass sich das Flugzeug mit einer Sinkgeschwindigkeit von 3.300 Fuß pro Minute dem Boden nähert. In der Betriebsart FPA sinkt das Flugzeug hingegen mit einem Winkel von 3,3°, was bei einer Geschwindigkeit von 145 Knoten (SPD 145) etwa 700 Fuß pro Minute entspricht. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

Air Inter hatte zwar als einzige Fluggesellschaft ihre Airbus A320 Flotte mit Head Up Displays (HUD) ausgerüstet, sie verzichtete aber auf das sogenannte Ground Proximity Warning System (GPWS). Dieses Bodenannäherungswarnsystem soll

²⁵³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.22.10 P 21, 1.31.40 P 17 – 1.31.40 P 20.

²⁵⁴ Vgl. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (1993), Chapitre 4.4.

die Piloten vor einer gefährlichen Annäherung an den Boden, einer zu schnellen Sinkrate oder einem Konfigurationsfehler vor dem Aufsetzen, z.B. Landeklappen oder Fahrwerk nicht ausgefahren, warnen. Gerüchten zufolge wurde bei Air Inter auf den Einbau des Systems verzichtet, weil sich das Unternehmen in einem heftigen Konkurrenzkampf mit dem französischen Schnellzug TGV befand. Die Piloten waren angehalten immer schnell und im Landeanflug auch steil zu sinken um Verspätungen zu vermeiden. Auf solche Manöver hätte aber das GPWS regelmäßig reagiert und so für Verwirrung im Cockpit gesorgt.²⁵⁵



Abbildung 41: Flight Control Unit (FCU) – Neue Version. Zwei weitere Ziffern in der Anzeige sollen heute eine Verwechslung zwischen Sinkrate (V/S) und Gleitwinkel (FPA) verhindern. (Quelle: CBT Honeywell International Inc., Deutsche Lufthansa AG)

In einer Simulation konnte nachgewiesen werden, dass die Piloten 180 und 120 Sekunden vor dem Unfall eine Warnung über das GPWS bekommen hätten. Zu diesen Zeitpunkten überflog der Airbus die ersten Bergspitzen in einer noch sicheren Flughöhe. 17 Sekunden vor Absturz hätten die Piloten eine dritte Warnung gehört, die jedoch zu spät gekommen wäre, um Gegenmaßnahmen einleiten zu können.²⁵⁶ Unmittelbar nach Vorliegen des vorläufigen Untersuchungsberichtes, einem Monat nach dem Unglück, erlies daher der französische Trans-

²⁵⁵ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 110-111.

²⁵⁶ Vgl. Sparaco, Pierre (1993): Former employee charged in Air Inter A320 crash. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 138, No. 4, Heft January 25, 1993. S. 56.

portminister Paul Quiles am 24. Februar 1992 eine Verordnung, die den Einbau eines GPWS für Flüge in und nach Frankreich verpflichtend vorschrieb.²⁵⁷

Kritik gab es auch an den Rettungsmaßnahmen durch das französische Militär sowie an dem Notsender des Airbus A320. Die Suche nach der Unglücksmaschine wurde erheblich verzögert, weil der Emergency Locator Transmitter (ELT) beim Aufschlag zerstört wurde. Normalerweise schaltet sich dieses Gerät nach einem Absturz ein und kann somit über Satelliten- bzw. Funkpeilung leicht geortet werden. Das Militär konnte die Absturzstelle erst nach knapp über vier Stunden und nur durch Hinweise der Zivilbevölkerung finden. Kurze Zeit später wurde das Gelände von einer französischen Spezialeinheit abgeriegelt und der Zutritt für Rettungsmannschaften untersagt. Erst nach dem Auffinden des Flugdatenschreibers (DFDR) und des Cockpit Voice Recorders (CVR) konnten die Notärzte zu den Passagieren vordringen. Es wird angenommen, dass bei einem früheren Eintreffen der Rettungskräfte weitere Passagiere überlebt hätten, die währenddessen bei Minusgraden von -2 bis -10 Grad Celsius an Unterkühlung starben.²⁵⁸

4.2.5 Warschau (Polen), 14. September 1993

Am 14. September 1993 startete um 15:27 Uhr Lokalzeit der Linienflug LH 2904 von Frankfurt/Main Richtung Warschau/Okecie. An Bord des Lufthansa Airbus A320-211 mit der Registrierung D-AIPN waren 64 Passagiere und 6 Besatzungsmitglieder. Auf dem linken Sitz im Cockpit saß der 47-jährige Michael Lübbert mit einer Flugerfahrung von 12.778 Flugstunden, davon 1.440 Stunden auf dem Airbus A320. Kapitän Lübbert war im Simulator nach längerer Krankheit nachgeschult und anschließend geprüft worden. Er sollte an diesem Tag unter Aufsicht drei abschließende Flüge durchführen. Als Kopilot fungierte der gleichaltrige Kapitän mit Einweisungsberechtigung, Hans-Jörg Hansen, der auf eine Erfahrung von 11.361 Flugstunden, davon 1.595 Stunden auf dem Airbus A320 verweisen konnte. Die ersten beiden Flüge der Besatzung am Vormittag von Frankfurt/Main nach Barcelona und retour verliefen, trotz schlechtem Wetter über Zentraleuropa, ohne Zwischenfälle.^{259, 260}

Während der Airbus in 33.000 Fuß Höhe Richtung Osten flog, zog eine Schlechtwetterfront in dieselbe Richtung. Schon beim Briefing am Boden in Frankfurt wurde die Besatzung auf das schlechte Wetter über der polnischen

²⁵⁷ Vgl. Lenorovitz, Jeffrey M. (1992c): French Government Seeks A320 Changes Following Air Inter Crash Report. In: Aviation Week & Space Technology. Volume 136, No. 9, March 2, 1992. S. 31.

²⁵⁸ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 111.

²⁵⁹ Vgl. Ladkin, Peter B. (1996), S. 8-13.

²⁶⁰ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 86.

Hauptstadt hingewiesen. Um 16:08 Uhr hörte die Besatzung über Funk das ATIS (Automatic Terminal Information System) des Zielflughafens ab.²⁶¹ Das ATIS ist eine automatische Informationsdurchsage für den Flugverkehr an Flugplätzen mit Instrumentenverkehr und gibt Auskunft über Wetterverhältnisse sowie weitere für An- und Abflug relevante Informationen. Auf dem Endlostonband war um 16:00 Uhr zu hören:

*“GOOD AFTERNOON, THIS IS WARSAWA, INFORMATION UNIFORM, EXPECT RADAR VECTOR FOR I-L-S RUNWAY 1-1, ARRIVAL RUNWAY 1-1, DEPARTURE RUNWAY 1-5, TRANSITION LEVEL 5-0, INFORMATION TAXIWAYS OSCAR 2, PARTLY MIKE 2 CLOSED, WIND 1-5-0 DEGREES, 2-2 KILOMETERS PER HOUR, VISIBILITY 1-0 KILOMETERS, CLOUDS 2 OCTAS C-B 2000 METERS, 4 OCTAS 2000 METERS, TEMPERATURE 2-2, DEW POINT 1-7, Q-N-H 9-9-7 HECTOPASCAL Q-F-E 9-8-4 HECTOPASCAL, 7-3-8 MILLIMETERS, NOSIG”*²⁶²

Zusammengefasst ergibt sich aus dieser Nachricht folgendes Bild über den Zielflughafen: Information Uniform (fortlaufende alphabetische Nummerierung), Landungen auf Runway 11, Starts auf Runway 15, Wind aus 150° mit 22 km/h, Sicht: 10 Kilometer, $\frac{2}{8}$ Gewitterwolken in 2.000 Meter (CB = Cumulonimbus) und $\frac{4}{8}$ Wolken in 2.000 Meter Höhe, Temperatur: 22° Celsius, no significant change (NOSIG).

Um 16:15 Uhr wurde der Airbus von der polnischen Luftverkehrskontrolle gebeten, auf Flugfläche 190 (FL190, 19.000 Fuß) zu sinken. Um 16:23 Uhr wurde von der Anflugkontrolle in Warschau die Freigabe für den Sinkflug auf 5.000 Fuß erteilt. Ca. 4 Minuten später wurde die Besatzung angewiesen, weiter auf 950 Meter zu sinken und die Geschwindigkeit auf V_{LS} (Lowest Selectable Speed) zu reduzieren. Bei einem Landegewicht von 58 Tonnen mit voll ausgefahrenen Landeklappen ist gemäß Lufthansa AOM (Airplane Operations Manual) eine Landegeschwindigkeit V_{LS} von 130 Knoten CAS (Computed Air Speed) vorgeschrieben.²⁶³

In einem Funkspruch zwischen Anflugkontrolle und einer Maschine die vor jener der Lufthansa zur Landung freigegeben war, wurde die Besatzung der Jet Aviation 101 vor Windscherungen im Endanflug gewarnt. Die Lufthansa Piloten, die den Funkverkehr mithörten, erhöhten daraufhin ihre Geschwindigkeit auf 150 Knoten – dies ist bei derart unsicheren Windlagen vorgeschrieben. Im Endanflug wurde die Airbus Besatzung vor Windscherungen gewarnt und mit den neuesten (falschen) Wetterinformationen (Wind aus 160° mit 25 km/h) versorgt:

²⁶¹ Vgl. Richter, Jan-Arwed; Christian Wolf (2006), S. 88.

²⁶² Ladkin, Peter B. (1996), S. 26.

²⁶³ Vgl. Ladkin, Peter B. (1996), S. 26.

Uhrzeit	Quelle	Inhalt
16:31:07	Tower	“Lufthansa 2904, continue ILS Approach, call me Outer Marker, Wind 160°, 25 Kilometers per Hour and before your landing it was reported Windshear on the final Runway 11”
16:31:21	DLH 2904	“Roger. That’s understood. I call you Outer Marker”
16:31:26	PJS 101	“Warsaw Tower, good evening, Jet Aviation 101 is vacating Runway 11 on Taxiway EO, for information we had severe Windshears on final.”
16:32:05	Tower	“Lufthansa 2904, you are cleared to land Runway 11, Wind 160°, 25 Kilometers per Hour.”
16:32:11	DLH 2904	“Cleared to land 11, Lufthansa 2904.” ²⁶⁴

Um 16:33:20 Uhr durchflog der Airbus schwere Turbulenzen und Gewitter mit Starkregen in einer Höhe von 278 Fuß. Die auf den Cockpitinstrumenten angezeigte Geschwindigkeit betrug zu diesem Zeitpunkt 147 Knoten. Aufgrund eines zusätzlichen Rückenwindes aus 240° – verursacht durch Windscherungen – stieg die Geschwindigkeit über Grund auf 168 Knoten an – der Airbus A320 war somit mit nunmehr fast 40 Knoten Overspeed (74 km/h) viel zu schnell unterwegs. Aus diesem Grund setzte die Maschine auch erst zirka 770 Meter nach dem Beginn der Landebahn auf. Da sich in Bodennähe eine zunehmend starke rechte Seitenwindkomponente ergab hatte der Pilot die Maschine mit der rechten Tragfläche in den Wind gehängt – ein übliches Verfahren, um den Landekurs trotz Seitenwind beizubehalten. Dies führte aber dazu, dass das Flugzeug mit dem rechten Hauptfahrwerk zuerst auf der regennassen Landebahn aufsetzte.²⁶⁵

Während der folgenden neun Sekunden wurde der sich anbahnende Unfall entscheidend geprägt (vgl. Tabelle 7). Denn so lange dauerte es, bis die Sensoren des linken Hauptfahrwerkes dem Bordrechner den notwendigen Druck von mindestens 6,3 Tonnen auf dem Stoßdämpfer meldeten.²⁶⁶

²⁶⁴ Vgl. Gröning, Marco (1997), S. 10.

²⁶⁵ Vgl. Burgner, Norbert (1993): LH-Crash in Warschau: Erste Anhaltspunkte. In: Flug Revue. November 1993. S. 27.

²⁶⁶ Vgl. Schubert, Christian-Heinz (2008), S. 143.

Uhrzeit (UTC)	Flughöhe (Fuß)	Geschwindigkeit (Knoten)	Entfernung zur Landebahnschwelle	Anmerkung
15:33:39	80	172	-24,4 m	
15:33:40	66	172	64,1 m	
15:33:41	54	172	152,6 m	“Fifty” (RA)
15:33:42	42	172	241,1 m	
15:33:43	30	172	329,5 m	“Thirty” (RA)
15:33:44	20	172	418,0 m	“Retard, Retard”
15:33:45	10	172	506,5 m	
15:33:46	6	170	595,0 m	Throttle Levers in Idle Position
15:33:47	2	170	682,5 m	
15:33:48	0	170	769,9 m	Right Landing Gear on Ground
15:33:49	0	166	857,4 m	
15:33:50	0	166	942,8 m	
15:33:51	0	164	1.028,2 m	Nose Landing Gear on Ground
15:33:52	0	164	1.112,5 m	Full Revers Thrust selected
15:33:53	2	162	1.196,9 m	
15:33:54	0	160	1.280,3 m	
15:33:55	0	158	1.362,6 m	
15:33:56	0	158	1.443,8 m	
15:33:57	0	154	1.525,1 m	Left Landing Gear on Ground
15:33:58	0	152	1.604,3 m	
15:33:59	0	148	1.679,5 m	Spoilers fully deployed (50°)
15:34:00	0	144	1.755,7 m	Reversers deploy
15:34:01	0	136	1.829,8 m	
15:34:02	0	132	1.899,7 m	Full Revers Thrust achieved (71%)

Tabelle 7: Auszug aus dem Digital Flight Data Recorder. Es vergingen 23 Sekunden bis zum Erreichen der vollen Bremswirkung mit Unterstützung der Schubumkehr. In der Zwischenzeit hatte der Airbus bereits 1.900 Meter auf der Landebahn fast ungebremst zurückgelegt. Um 15:34:19 UTC überrollte die Maschine das Ende der Landebahn und stieß um 15:34:22 UTC gegen den Erdwall nahe der Flughafenbegrenzung (1 Fuß = 30,48 Zentimeter, 1 Knoten = 1,85 km/h). (Quelle: Ladkin, Peter B. (1996), S. 30-31)

Solange jedoch nicht beide Fahrwerke auf dem Boden vollständig aufgesetzt haben oder sich mit mindestens 72 Knoten drehen, werden Bremshilfen wie Störklappen (Ground Spoiler) und vor allem die Schubumkehr nicht aktiviert. Diese elektronische Sperre soll verhindern, dass sich die Schubumkehr im Flug öffnet und, wie 1991 bei einer Boeing 767 der Lauda Air geschehen, das Flugzeug in einen unkontrollierten Sinkflug reißt. Für den Computer errechnete sich somit die Logik, dass der Airbus noch flog.

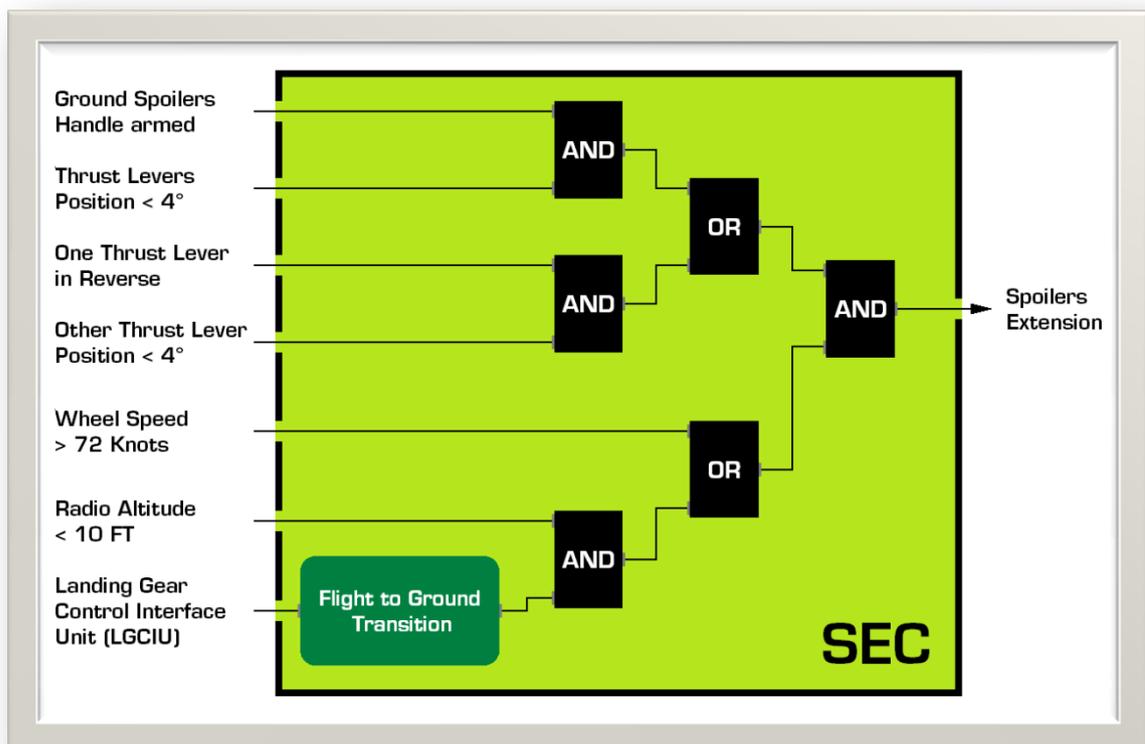


Abbildung 42: Logik für das Ausfahren der Störklappen (gültig 1993). (Quelle: Airbus Industrie FCOM A320 Flight Controls 1.27.10 P 11 REV 18)

Abbildung 42 kann die Logik im Spoiler Elevator Computer (SEC) für das Ausfahren der Störklappen entnommen werden. Dieses Klappensystem auf der Oberseite der Tragfläche soll nach einer Landung die Luftströmung stören und somit den Auftrieb unterbrechen sowie gleichzeitig das Flugzeug nach unten auf die Landebahn pressen. Während die Kriterien 1 bis 4 sowie 6 (Hebel für das Aktivieren der Störklappen wurde gezogen, beide Schubhebel befanden sich in der Position IDLE und somit in einer Position < 4°, der Radio Höhenmesser meldete eine Höhe < 10 Fuß) erfüllt waren, wurde das Ausfahren der Spoiler durch das Nichterfüllen der Kriterien 5 und 7 (Geschwindigkeit des linken Hauptfahrwerkes

war < 72 Knoten, die Stoßdämpfer waren keiner Belastung von mindestens 6,3 Tonnen ausgesetzt) verhindert.²⁶⁷

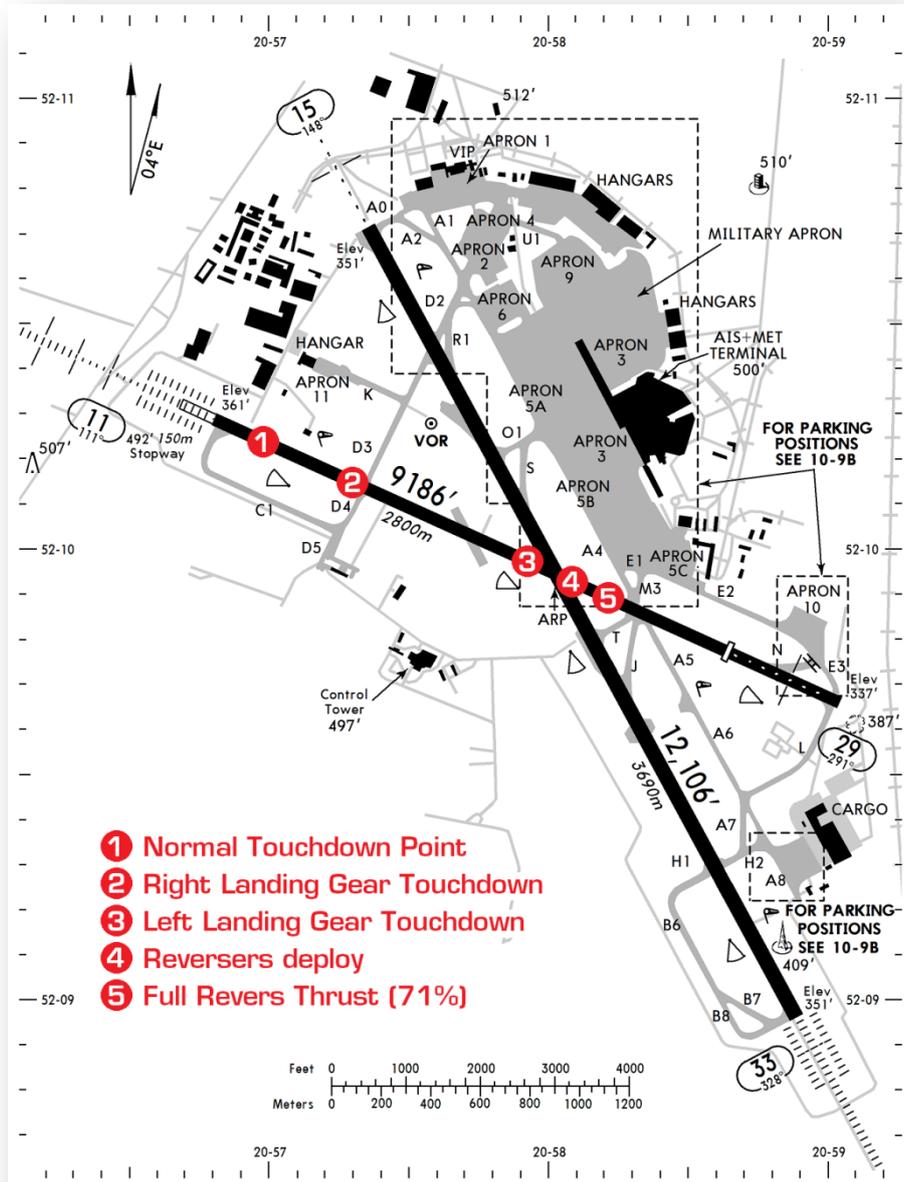


Abbildung 43: Übersichtskarte Flughafen Warschau/Okęcie, Poland. (Quelle: Jeppesen, Stand: 4. Dezember 2009)

Während dieser Zeit legte das Flugzeug noch einmal ca. 750 Meter zurück, so dass die volle Bremswirkung erst 1.900 Meter nach dem normalen Aufsetzpunkt verfügbar war (vgl. Abbildung 43).²⁶⁸

²⁶⁷ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.10 P12 – 1.27.10 P 13.

In dem Untersuchungsbericht der polnischen Behörden wurde die Hauptschuld der Cockpitbesatzung zugeschrieben. Die Piloten hätten sich nicht auf die Wetterinformationen des Towers verlassen dürfen und den Rückenwind über den Windvektor – dargestellt am Navigation Display links oben (vgl. Abbildung 24) – erkennen müssen. Da dieser höher als 10 Knoten war, hätten sie den Airbus gar nicht auf der Piste 11 landen dürfen. Airbus wurde kritisiert, da die Besatzung keine Möglichkeit hatte Spoiler und Schubumkehr manuell auszufahren, um so das Flugzeug früher abzubremsen.

Der europäische Flugzeugbauer zog zwei Konsequenzen aus dem Unglück. In einem Service Bulletin vom 16. Jänner 1995 (No. A320-27-1088) kündigte Airbus eine neue Software für den Spoiler Elevator Computer (Release SEC 09801) an. Die Logik wurde um das sogenannte „Phased Lift Dumping“ erweitert die das Ausfahren der Spoiler um 10° ermöglichen soll, sobald ein Hauptfahrwerk den Boden berührt hat und mindestens einer der beiden Schubhebel in die Stellung Reverse geschoben wurde. Dieses Verfahren soll genügend Auftrieb reduzieren, sodass auch das zweite Hauptfahrwerk entsprechend rasch belastet wird (vgl. Abbildung 44).²⁷¹

Die zweite Modifikation betraf das Hauptfahrwerk selbst. Airbus bot neue Stoßdämpfer an, die bereits bei einer Belastung von zwei Tonnen eine Landung des Fahrwerks an die Computer melden soll.

4.2.6 Bilbao (Spanien), 7. Februar 2001

Am 7. Februar 2001 gegen 23:00 Uhr Lokalzeit befand sich ein Airbus A320 der spanischen Fluggesellschaft Iberia mit der Flugnummer IB 1456 im Anflug auf die Landebahn 30 des Flughafens der Stadt Bilbao in Sondica. Das Flugzeug mit der Registrierung EC-HKJ kam aus Barcelona und hatte 136 Passagiere sowie 7 Besatzungsmitglieder an Bord. Da dieser Flug als Trainingsflug für den First Officer diente, saßen drei Piloten im Cockpit. Kurz vor der Landung, die mit Unterstützung des Instrumentenlandesystems (ILS) erfolgte, durchflog der Airbus eine Gewitterfront. Die Cockpitbesatzung wurde durch den Tower auf leichte Turbulenzen sowie Wind aus 240 Grad (von vorne links) mit Spitzen zwischen 8 und 15 Knoten hingewiesen. Es gab keine Warnungen vor einer Windscherung, obwohl kurz vor der geplanten Landung der Iberia drei weitere Flugzeuge vergeblich versuchten auf dem Flughafen zu landen.²⁷²

²⁷¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (1998).

²⁷² Vgl. van Beveren, Tim (2001b): Accident Spurs Action to Give Pilots More Control Authority of Computerized Aircraft.

Der Flughafen in Bilbao ist vor allem in den Wintermonaten und bei Schlechtwetter bei den Piloten gefürchtet.²⁷³ Sondica war zum damaligen Zeitpunkt mit veralteten Messinstrumenten für die Wetterbeobachtung ausgestattet und verfügte nicht über Systeme zum Erkennen von gefährlichen Windscherungen. Ursache einer Windscherung sind große Luftdruckunterschiede in der Atmosphäre, bei denen die als Scherwind bezeichnete Windbewegung als Ausgleich zwischen diesen Punkten fungiert. Sind diese zwei Punkte in unterschiedlichen Höhen, so wird von einer vertikalen, sind diese an unterschiedlichen geografischen Positionen, von einer horizontalen Windscherung gesprochen.²⁷⁴ In den vorhergehenden 15 Tagen kam es zu zwei wetterbedingten Zwischenfällen auf dem Flughafen in Bilbao, in den fünf Monaten davor waren es weitere drei. Am selben Tag entschieden sich mehrere Besatzungen direkt zu ihrem Ausweichflughafen nach Vitoria (49 Kilometer südlich von Bilbao) zu fliegen und verzichteten, aufgrund der schlechten Wetterbedingungen, auf einen Landeversuch in Sondica.²⁷⁵

In 200 Fuß (61 Meter) Höhe wurde der Airbus von schweren Turbulenzen erfasst. Das Flugzeug durchflog eine vertikale Windscherung und wurde zuerst mit 1,15 g nach oben gezogen. Dies wurde durch ein Auslenken des Sidesticks nach vorne korrigiert um die Nase zu senken. Kurz danach geriet die Maschine in einen Fallwind was zu einer „SINK RATE“ Warnung des Ground Proximity Warning Systems (GPWS) führte. Die Piloten entschieden sich für ein sofortiges Durchstartmanöver, schoben die Triebwerksregler in die Position TO/GA (Take-Off/Go-Around) und lenkten beide gleichzeitig ihren Sidestick nach hinten aus, um die Nase des Flugzeuges zu heben. Durch das unmittelbar hintereinander durchgeführte Auslenken des Sidesticks nach vorne (zum Gegensteuern bei der Windscherung) bzw. nach hinten (Durchstarten des Airbus A320) wurde jedoch durch die Computersysteme die sogenannte „ α Protection“ (High Angle of Attack Protection) aktiviert.²⁷⁶

Eine der großen technischen Errungenschaften im Airbus A320 stellt die Fly-by-wire Steuerung dar. Bei dieser werden die Steuer- und Stellbefehle für Tragflächen, Höhen- und Seitenleitwerk nur noch mittels elektronischer Signale übertragen. Die wesentliche Neuerung ist aber nicht allein die elektrische Signalübertragung, sondern die Einbeziehung des Bordcomputers in die Flugsteuerung. Der Pilot steuert das Flugzeug nicht mehr direkt, sondern gibt nur noch Anweisungen

²⁷³ Vgl. Learmount, David (Hrsg.) (2001): Bilbao accident prompts Airbus control software modification. In: Flight International. Volume 159, Number 4785, 19-25 June 2001. S. 29.

²⁷⁴ Vgl. Price, John D. H. (1985): Windshear. In: FAST – Airbus Technical Digest. Number 6, November 1985. S. 4-7.

²⁷⁵ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 23-24.

²⁷⁶ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 25-28.

an die Computer weiter die von diesen auf Plausibilität geprüft werden, bevor eine Umsetzung erfolgt.

Airbus bezeichnet diese dynamische Begrenzung von Flugzuständen in der Nick-, Roll- und Gierachse als „Flight Envelope Protection“. Bleibt das Flugzeug innerhalb sicherer Grenzen, so ist alles in Ordnung. Würde der Pilot im manuellen Flug die Betriebsgrenzen überschreiten, so greift automatisch die Flight Envelope Protection ein und limitiert die Reglerfunktionen. Wenn der Pilot z.B. seinen Sidestick bis zum Anschlag bewegt, sorgt die Flight Envelope Protection dafür, dass das Steuermanöver nur bis zu einer als sicher eingestuften Grenze ausgeführt wird. Captain Chris Krahe (Airbus Industrie Vice President Operational Flight Group Training and Flight Operations Support) führt dazu stolz aus:

“[...] if a rapid avoidance manoeuvre is required to avoid terrain, wind-shear or another traffic, it is safe to rapidly pull the side stick fully aft and/or bank and hold it there. The aircraft will pitch up to max Alpha, engage TOGA thrust and climb away. Such precise manoeuvring around the low speed edge of the flight envelope is virtually not possible in any conventional aircraft.”²⁷⁷

Die Bordcomputer begrenzen in bestimmten Situationen

- das Lastvielfache (Load Factor Limitation):

In sauberer Konfiguration (Fahrwerk und Landeklappen eingefahren) ist das Lastvielfache automatisch auf +2,5 g bis -1 g und bei ausgefahrenen Klappen oder Fahrwerk auf +2 g bis 0 g limitiert.²⁷⁸

- die Längsneigung (Pitch Attitude Protection):

Die Längsneigung wird automatisch in einer Nose up Konfiguration (positive Längsneigung) auf +30° bzw. +25° im Langsamflug beschränkt. Bei einer negativen Längsneigung (Nose down) ist der Winkel mit -15° limitiert.²⁷⁹

- den Anstellwinkel (High Angle of Attack Protection):

Der Anstellwinkel (Angle of Attack, AOA) ist der Winkel zwischen der Rich-

²⁷⁷ Vgl. Krahe, Chris (1996): Airbus Fly-by-wire Aircraft at a Glance – A Pilot’s first view. In: FAST – Airbus Technical Digest. Number 20, December 1996. S. 7.

²⁷⁸ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 3.

²⁷⁹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 3.

tung der anströmenden Luft sowie der Tragfläche eines Luftfahrzeuges. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit sowie von Vorflügel- und Landeklappenstellung werden die Grenzwinkel α PROT (Aktivierung der High Angle of Attack Protection), α FLOOR und α MAX (maximaler Anstellwinkel kurz vor einem Strömungsabriss) berechnet (der griechische Buchstabe α steht dabei für den Anstellwinkel). Hat der Pilot durch Ziehen seines Sidesticks α FLOOR erreicht, so erhöhen die Bordcomputer automatisch den Schub um einen drohenden Strömungsabriss zu verhindern (α FLOOR Protection). Auch wenn der Pilot seinen Sidestick vollständig zurückziehen würde, kann der maximale Anstellwinkel α MAX nicht überschritten werden.²⁸⁰ Airbus hält dazu im Betriebshandbuch des Airbus A320 fest:

“This protection against stall and windshear has priority over all other protections.”²⁸¹

In den nachfolgenden zwei Tabellen sind Beispiele für den Anstellwinkel in Abhängigkeit von der Konfiguration für α PROT, α MAX sowie α FLOOR angeführt:

	Flap 3	Flap Full
α PROT	14,5°	12,0°
α MAX	17,5°	15,0°

Tabelle 8: α PROT und α MAX für zwei ausgewählte Konfigurationen. (Quelle: Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil)

Flap configuration	0	1-2	3	Full
α FLOOR	9,5°	15°	14°	13°

Tabelle 9: α FLOOR bei entsprechender Stellung der Landeklappen. (Quelle: Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil)

- die Geschwindigkeit (High-Speed Protection):

Die High Speed Protection verhindert ein Überschreiten der zulässigen betrieblichen Höchstgeschwindigkeit VMO (Maximum Operating Speed) bzw.

²⁸⁰ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 4.

²⁸¹ Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 4.

MMO (Maximum Operating Mach). Sie wird bei Überschreitung von VMO um 4 Knoten bzw. MMO um 0,006 Mach aktiviert. Gleichzeitig wird die maximale Schräglage automatisch auf 45° begrenzt.²⁸²

- die Querneigung (Bank Angle Protection):

Bei einer seitlichen Bewegung des Sidesticks werden die Querruder-, Seitenruder- und Spoilerausschläge durch die Bordcomputer berechnet. Bei einer Neutralstellung des Sidesticks wird eine erreichte Querneigung (Bank Angle) von maximal 33° gehalten. Wird der Sidestick bei einer seitlichen Neigung von mehr als 33° losgelassen, so stellt sich automatisch eine Querneigung von 33° ein. Eine Querneigung von mehr als 33° benötigt ein ununterbrochenes Steuerkommando. Der maximale Winkel im Kurvenflug beträgt 67 Grad.²⁸³

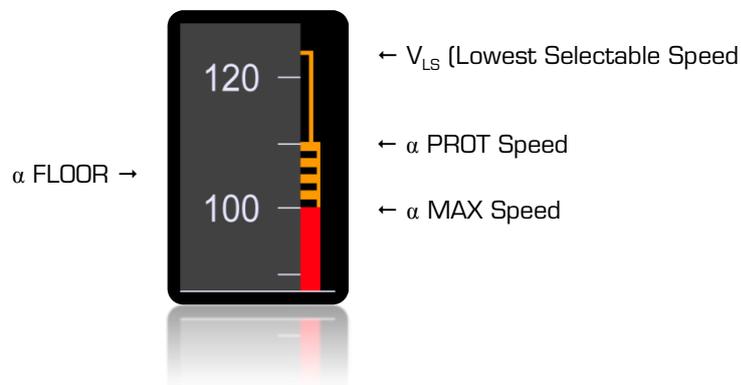


Abbildung 45: Anzeige der High Angle of Attack Protection. In der Geschwindigkeitsskala (vgl. Abbildung 25) werden die vorausberechneten Werte für V_{LS} (Lowest Selectable Speed), α PROT und α MAX Speed besonders hervorgehoben. (Quelle: Airbus Industrie)

Im Beispiel des Iberia Fluges IB 1456 waren zwei Faktoren für das Auslösen der α Protection ausschlaggebend. Zum einen der Anstellwinkel (AOA), der verhindern soll, dass ein vorberechnetes Alpha – abhängig von Gewicht und Konfiguration des Flugzeuges – überschritten wird. Zum anderen die Rate mit der sich dieser Winkel ändern darf, bevor α PROT ausgelöst wird.²⁸⁴

Diese sogenannte „Pitch-Rate Limitation“ war zunächst nicht Bestandteil der Flight Envelope Protection und wurde erst nach Testflügen, kurz vor Auslieferung der ersten Flugzeuge 1988, als weitere Limitierung Teil der α Protection.

²⁸² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 5.

²⁸³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.27.20 P 6.

²⁸⁴ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 25-28.

Die Kombination aus Scherwinden in Bodennähe, dem raschen Gegensteuern der Besatzung und schließlich dem Durchstartmanöver mit dem gleichzeitigen Auslenken beider Sidesticks nach hinten, führte zum Auslösen der Pitch-Rate Limitation. Die Bordcomputer ignorierten daher die Eingaben der Cockpitbesatzung und reduzierten den Ausschlag des Höhenruders. Anstelle des rettenden Steigfluges schlug das Flugzeug mit 4,75 g auf der Landebahn auf. Airbus berechnete die vertikale Sinkgeschwindigkeit beim Aufschlag mit 1.200 Fuß/Minute. Unter normalen Umständen wird der Landeanflug mit einer Sinkrate von ca. 500-600 Fuß/Minute durchgeführt, die Landung selbst erfolgt – je nach Geschick des Piloten – mit ca. 50-120 Fuß/Minute.²⁸⁵

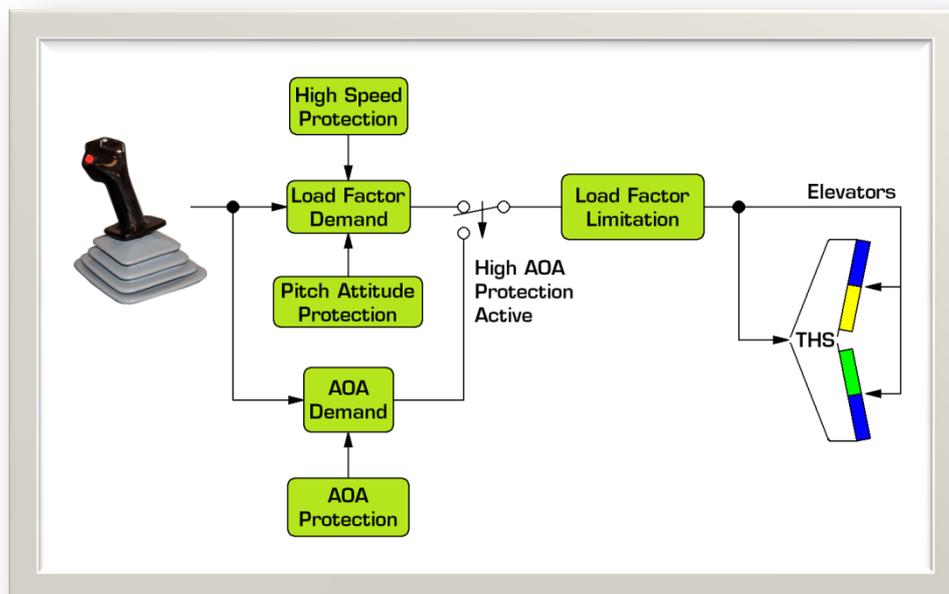


Abbildung 46: Schutzmechanismen im Normalflug. (Quelle: Airbus Industrie)

Während des Aufpralls wurde das Bugfahrwerk zerstört. Der Airbus schlitterte über die Landebahn und kam nach ca. 1.100 Metern zum Stillstand. Während der anschließenden Evakuierung über die Notrutschen wurden ein Besatzungsmitglied und 23 Passagiere leicht sowie ein Passagier schwer verletzt.²⁸⁶ Das sechs Monate alte Flugzeug musste aufgrund der schweren Schäden als Totalverlust abgeschrieben werden.²⁸⁷

²⁸⁵ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 2.

²⁸⁶ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 2-3.

²⁸⁷ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 17.

Airbus Industrie reagierte schnell auf den ersten Zwischenbericht und erließ am 23. März 2001 eine Technische Mitteilung an alle Betreiber des Airbus A319/A320.²⁸⁸ In dieser ist unter anderem zu lesen:

“Following a recent incident during final approach, investigations have revealed that under specific gusty conditions (strong gusts, turbulence) possible malfunction of the ELAC logic (alpha prot law) could result to the activation of the alpha prot law during final approach which could severely reduce nose-up side stick orders.”²⁸⁹

In diesem Telex wurden auch Anweisungen gegeben, welche Verfahren – bis zu einem Austausch der Software – eingehalten werden müssen um diesen Fehler zu vermeiden.²⁹⁰

Die Programmänderungen wurden als ELAC (Elevator Aileron Computer) Standard L81 Mitte 2001 von den Behörden geprüft und zertifiziert. In einem entsprechenden Service Bulletin wurden die Fluglinien schließlich im September 2001 über die neue Release informiert. Das Einspielen der neuen Software betraf alle Airbus Flugzeuge der Type A319/A320/A321 und musste bis Ende Dezember 2002 abgeschlossen werden. Die Pitch-Rate Limitation, als eigentlicher Auslöser für den Unfall, wurde aus dem Programmcode entfernt.²⁹¹

Wie oft Änderungen an der Software vorgenommen werden zeigt, dass derzeit gerade der Elevator Aileron Computer (ELAC) Software Standard L94 implementiert wird (Stand: 1. August 2010).²⁹²

4.2.7 Frankfurt (Deutschland), 20. März 2001

Am 20. März 2001 kam es unmittelbar nach dem Start eines Lufthansa Airbus A320-211 mit der Registrierung D-AIPW zu einem Zwischenfall. Das Flugzeug war gegen 11:00 Uhr UTC, auf der Startbahn 18 des Flughafens Frankfurt/Main zu einem Linienflug nach Paris gestartet. In der Maschine befanden

²⁸⁸ Vgl. Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) (Hrsg.) (2001): Telegraphic Airworthiness Directive N° T2001-106 (B) Airbus Industrie A319/A320 aircraft – Flight Control- ELAC Computer – (ATA27).

²⁸⁹ Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) (Hrsg.) (2001): Telegraphic Airworthiness Directive N° T2001-106 (B) Airbus Industrie A319/A320 aircraft – Flight Control- ELAC Computer – (ATA27).

²⁹⁰ Vgl. Luftfahrt-Bundesamt (LBA) (Hrsg.) (2001): Lufttüchtigkeitsanweisung LTA-Nr.: 2001-138.

²⁹¹ Vgl. Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006), S. 22-23.

²⁹² Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2010).

sich 6 Besatzungsmitglieder und 115 Passagiere. Kurz nach dem Abheben bemerkte der steuernde 41-jährige Flugkapitän (Pilot in Command, PIC), dass sich der Airbus – verursacht durch einen Seitenwind aus 070° mit 4 Knoten Geschwindigkeit – nach links neigte. Der Kapitän versuchte mit einer leichten Eingabe über seinen Sidestick gegenzusteuern, musste jedoch feststellen, dass die Schräglage des Flugzeuges kontinuierlich größer wurde und auf bis zu 22 Grad zunahm. Mit dem Ausruf des PIC „Ich kann nichts mehr machen!“ übernahm der 27-jährige Kopilot mit den Worten „I have control!“ die Steuerung der Maschine nachdem er auch schon zuvor instinktiv mit seinem Sidestick gegengesteuert hatte. Er drückte den „Takeover Pushbutton“, korrigierte die Schräglage des Flugzeuges und flog den Airbus mit Hilfe des Autopiloten auf die Flugfläche 120 (FL120) in 12.000 Fuß (3.658 Meter) Höhe.²⁹³

Dort angekommen wurde der Autopilot ausgeschaltet und der Kopilot begann mit der Prüfung der Steuerung über den rechten Sidestick. Sämtliche Eingaben des zweiten Flugzeugführers wurden durch das Flugzeug korrekt ausgeführt. Danach übernahm der Kapitän das Kommando und begann vorsichtig mit der Überprüfung der Steuereingaben über seinen linken Sidestick. Bei einem Input über diesen reagierte der Airbus nach einem kurzen Schütteln jedoch plötzlich entgegengesetzt. Nachdem der Besatzung bewusst wurde, dass das Flugzeug auf Eingaben des linken Sidesticks konträr reagierte, entschieden sich die Piloten den Flug abubrechen und nach Frankfurt zurückzukehren.²⁹⁴

Am Boden wurde der Airbus dem Wartungsbetrieb (Lufthansa Technik) übergeben, der zunächst im Beisein der Piloten einen „Flight Control Check“ durchführte. Bei diesem Test bewegten sich die Symbole der Querruder auf dem System Display des ECAM Monitors zunächst für einen sehr kurzen Moment in die richtige Richtung (vgl. Abbildung 47), bevor sie kurze Zeit später in die entgegengesetzte Richtung ausschlugen.²⁹⁵

Der Airbus A320 war bereits vor dem Flug zwei Tage bei Lufthansa Technik, da bei einigen Flügen davor Probleme mit einem der Elevator Aileron Computer (ELAC) – der unter anderem für die Steuerung der Querruder zuständig ist – aufgetreten sind. Beim Austausch des ELAC 1 wurde ein verbogener Pin festgestellt, der jedoch nicht repariert werden konnte. Es musste somit der gesamte Steckerblock des ELAC gewechselt und neu verdrahtet werden. Das bedeutete, dass ca. 420 Anschlussstifte unter engsten Platzverhältnissen im Avionik Abteil des Flugzeuges umgesteckt werden mussten. Bei diesen Arbeiten, die den gan-

²⁹³ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2003), S. 2-6 und S. 14.

²⁹⁴ Vgl. van Beveren, Tim (2001a): Cross-wired controls almost bring down Lufthansa A320. In: Flight International. Volume 159, Number 4781, 22-28 May 2001. S. 14.

²⁹⁵ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2003), S. 4.

zen Tag in Anspruch nahmen und durch zwei Schichten durchgeführt wurden, kam es zur Verwechslung von zwei Kabelpaaren.²⁹⁶

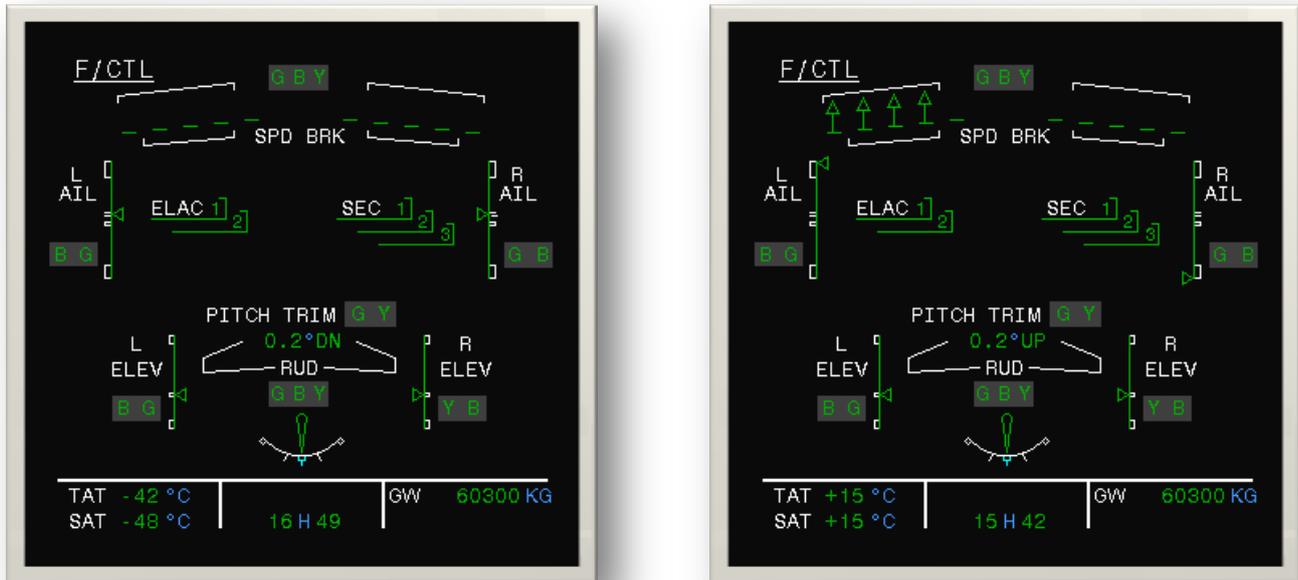


Abbildung 47: ECAM F/CTL System Display. Beim „Flight Control Check“ am Boden muss durch das Auslenken des Sidesticks in alle vier Richtungen das ordnungsgemäße Ausfahren der Steuerflächen überprüft werden. Im linken Bild befindet sich der Sidestick in neutraler Position – Bremsklappen (Speed Brakes, SPD BRK) und Querrudern (Ailerons, AIL) sind eingefahren. Rechts wurde der Sidestick bis zum Anschlag nach links bewegt. Die Bremsklappen auf der linken Tragfläche sind ausgefahren. Zusätzlich wurde das linke Querruder nach oben (L AIL) und das rechte nach unten (R AIL) positioniert. (Quelle: Lufthansa Flight Training GmbH)

Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU), die von Lufthansa am 21. März 2001 über den Vorfall unterrichtet wurde, hat in ihrer Untersuchung festgestellt, dass eine Vielzahl von Faktoren zu diesem Ereignis beigetragen hat. Obwohl es mehrere Sicherheitsnetze gegeben hätte, wurde die Kausalkette an keiner Stelle unterbrochen. Die BFU kam zum Schluss, dass

- bei Instandsetzungsarbeiten am Stecker des Elevator Aileron Computers (ELAC) Nummer 1 zwei Kabelpaare vertauscht wurden,
- der Arbeitsfehler unentdeckt blieb und schließlich
- der Fehler beim „Flight Control Check“ durch die Besatzung nicht erkannt wurde.²⁹⁷

²⁹⁶ Vgl. van Beveren, Tim (2005), S. 57-58.

²⁹⁷ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2003), S. 28.

Als Fehlerursache haben zusätzlich beigetragen:

- eine unübersichtliche, schwer handhabbare Dokumentation in deren Folge ein falsches Wiring-Diagramm benutzt wurde,
- ein Abweichen von den Herstellervorgaben durch Lufthansa Technik,
- nicht eindeutig formulierte Herstelleranweisungen,
- eine unkorrekte Durchführung der Funktionskontrolle durch den Zweitkontrollierenden,
- eine unzureichend funktionierende Qualitätssicherung,
- eine fehlende Überwachung des Wartungsbetriebes durch das Luftfahrtunternehmen,
- eine quantitativ und damit auch qualitativ nicht ausreichende Überwachung des Wartungsbetriebes und des Luftfahrtunternehmens durch die Aufsichtsbehörde sowie
- Mängel in der „After Start Checklist“ für die Durchführung des „Flight Control Check“.²⁹⁸

Dieser Vorfall zeigt deutlich auf, dass nicht nur Hard- oder Softwarefehler, sondern auch eine falsche Verkabelung der einzelnen Komponenten oder Fehler in der Wartungskette zu ernsthaften Zwischenfällen führen können.

4.2.8 London (Großbritannien), 22. Oktober 2005

Mit der zunehmenden Automatisierung im Cockpit moderner Verkehrsflugzeuge, gewinnt auch die Sicherstellung der Stromversorgung der diversen Computersysteme und Bildschirme eine immer größer werdende Bedeutung. Was passieren kann wenn die Energieversorgung während des Fluges ausfällt, zeigt folgender Zwischenfall, der sich am 22. Oktober 2005 in der Nähe von Clacton, Essex ereignet hat.

Um 19:18 Uhr UTC startete in London/Heathrow ein mit 76 Passagieren und 6 Besatzungsmitgliedern besetzter Airbus A319-131 der British Airways mit der Registrierung G-EUOB zu einem planmäßigen Nachtflug nach Budapest/Ferihegy. Um 19:26 Uhr UTC, als das Flugzeug gerade eine Flughöhe von 20.000 Fuß (6.096 Meter) erreicht hatte, wurde das Cockpit plötzlich dunkel und fast alle Bildschirme fielen aus. Die Besatzung berichtete den Ausfall folgender Systeme:

- Primary Flight Display (PFD) auf der Kapitäns- und Kopilotenseite,
- linkes und rechtes Navigation Display (ND),

²⁹⁸ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2003), S. 28.

- ECAM Engine/Warning Display (das untere System Display war intakt),
- Autopilot,
- automatische Triebwerkssteuerung,
- interne Kommunikation sowie
- alle Beleuchtungen im Overhead Panel, Glareshield und der Mittelkonsole.²⁹⁹

Der Kapitän übernahm sofort die manuelle Steuerung und versuchte mit Hilfe der Standby Instrumente, die jedoch ebenfalls nicht beleuchtet waren, und des Horizonts am Nachthimmel, die Fluglage beizubehalten. Ein abgesetzter Notruf konnte, da auch der Funk ausgefallen war, nicht von der Flugüberwachung wahrgenommen werden. Der Kopilot kümmerte sich zwischenzeitlich um das Auffinden der Fehlerquelle und Abarbeiten der elektronisch angezeigten Checkliste.

Das obere ECAM Engine/Warning Display zeigt im Standardbetrieb die primären Triebwerksparameter, Warnungen und Memos an, während der untere Bildschirm Statusinformationen über die diversen Systeme des Airbus A318/A319/A320/A321 darstellt (vgl. dazu Kapitel 2.3 Systemüberwachung). Fällt, so wie in diesem Fall, das obere Display aus, so wird die Information des Engine/Warning Displays automatisch auf das System Display transferiert. Da im unteren Bereich des ECAM Bildschirms nur beschränkt Platz für das Anzeigen von Text vorhanden ist, muss die Checkliste sequentiell abgearbeitet werden. Die Warnung bzw. das Memo muss gelesen, die entsprechende Aktion – falls erforderlich – ausgeführt und durch Drücken des Clear Buttons (CLR) über das ECAM Control Panel abgeschlossen werden. Danach scrollt der Text nach oben und weitere Nachrichten erscheinen auf der Checkliste bis diese vollständig abgearbeitet wurde.

Laut Auskunft der Besatzung war es der neunte oder zehnte Punkt in der Checkliste, der schlussendlich über einen alternativen Pfad, den sogenannten „AC (Wechselstrom) Essential Bus“, und somit das Cockpit 90 Sekunden nach dem Ausfall wieder mit Strom versorgte (vgl. Abbildung 48 links).³⁰⁰

Abbildung 48 rechts zeigt im ECAM Synoptic Display schematisch die Stromversorgung des Airbus A318/A319/A320/A321 an. Der Airbus verfügt über drei Wechselstromgeneratoren wobei Generator 1 (GEN 1) durch das linke Triebwerk, Generator 2 (GEN 2) durch das rechte und der sogenannte APU GEN durch das Hilfstriebwerk (APU) angetrieben wird. Ein Generator reicht aus, um das gesamte Flugzeug mit dem für den Betrieb notwendigen Strom zu versorgen.

²⁹⁹ Vgl. Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB) (Hrsg.) (2006), S. 2.

³⁰⁰ Vgl. Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB) (Hrsg.) (2006), S. 2-3.

Bei Ausfall dieser drei Generatoren steht noch ein Notfallgenerator (EMER GEN) zur Verfügung. Es handelt sich dabei um einen kleinen Propeller an der Rumpfunterseite, der im Notfall das Blaue Hydrauliksystem und den AC Essential Bus (AC ESS) versorgen kann. Die beiden unabhängigen Generatoren GEN 1 und GEN 2 versorgen jeweils ihren eigenen angeschlossenen Bus AC 1 bzw. AC 2 mit einem 115/200 Volt 400 Hertz Dreiphasen-Wechselstrom. Die beiden Gleichrichter TR 1 und TR 2 (Transformer Rectifier) wandeln den Wechselstrom in 28 Volt Gleichstrom um, der wiederum die beiden redundanten Gleichstrombusse DC 1 und DC 2 versorgt. Über den Gleichstrombus werden schlussendlich die beiden Batterien geladen, die den Airbus bei Ausfall sämtlicher Generatoren 20 Minuten mit Strom versorgen können.³⁰¹



Abbildung 48: Engine/Warning- und Synoptic Display der Elektronik. Links ist jener Teil der Checkliste dargestellt, mit dem – laut Auskunft der Piloten – die Stromzufuhr wieder hergestellt werden konnte. Rechts ist das Synoptic Display der Stromversorgung abgebildet. (Quelle: Luft-hansa Flight Training GmbH)

Nachdem der Zwischenfall erst am 28. Oktober 2005 gemeldet wurde, konnte in der anschließenden Untersuchung die eigentliche Fehlerursache – aufgrund fehlender bzw. überschriebener Daten im DFDR – nicht mehr gefunden werden. Dennoch wurde die Stromversorgung einer genauen Prüfung unterzogen und Abweichungen zu geforderten Zulassungsstandards aufgedeckt. So wurde zum Beispiel festgestellt, dass bei einem Ausfall des Wechselstrombusses AC 1 die

³⁰¹ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a), S. 1.24.10 P1 – 1.24.10 P 15.

Standby Instrumente nicht mehr mit Strom versorgt werden. Gerade diese Notinstrumentierung soll aber der Besatzung ein sicheres Landen der Maschine bei einem Totalausfall der Bildschirme ermöglichen.³⁰²

Es dauerte ein Jahr bis Airbus mit dem Service Bulletin No. A320-24-1120 eine entsprechende Modifikation zur Verfügung stellte.³⁰³

4.2.9 Hamburg (Deutschland), 1. März 2008

Am 1. März 2008 wurde das Wettergeschehen über Deutschland durch das Sturmtief „Emma“ beeinflusst. Aufgrund eines Eisregens konnte der Lufthansa Linienflug LH 044 von München (EDDM) nach Hamburg (EDDH) erst mit ca. 2-stündiger Verspätung um 12:31 Uhr starten. An Bord des Airbus A320-211 mit der Registrierung D-AIQP befanden sich 132 Passagiere und 5 Besatzungsmitglieder.³⁰⁴

Im Reiseflug, der laut Besatzung ohne besondere Ereignisse verlief, informierten sich die Piloten über das aktuelle Wetter am Zielflughafen. In der METAR Meldung (Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation) von 13:20 Uhr war zu lesen:

*„METAR EDDH 011220Z 29028G48KT 9000 -SHRA FEWO11
BKNO14 07/05 Q0984 TEMPO 29035G55KT 4000 SHRA
BKNO08=“*³⁰⁵

Die Information der Wettermeldestelle Hamburg/Fuhlsbüttel (EDDH) kann wie folgt interpretiert werden: Meldung vom 1. des Monats um 12:20 Uhr UTC (011220Z), Bodenwind aus 290 Grad mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 28 Knoten und Windspitzen (Gust) bis 48 Knoten (29028G48KT), Sichtweite 9.000 Meter, leichte Regenschauer (-SHRA), 1 bis 2 Achtel Bewölkung in 1.100 Fuß (FEWO11), 5 bis 7 Achtel Bewölkung in 1.400 Fuß (BKNO14), Temperatur 7° Celsius/Taupunkt 5° Celsius (07/05), QNH 984 hPa (Q0984). Temporär (TEMPO) ist mit Wind aus 290 Grad mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 35 Knoten und Böen bis 55 Knoten (29035G55KT) zu rechnen.³⁰⁶

³⁰² Vgl. Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB) (Hrsg.) (2008), S. 48-49.

³⁰³ Vgl. Airbus Industrie (Hrsg.) (2009).

³⁰⁴ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 4.

³⁰⁵ Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 18.

³⁰⁶ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 18.

Um 13:27 Uhr erhielt die Besatzung des Airbus die Freigabe für einen ILS Anflug auf die Landebahn 23. In einem Funkgespräch um 13:30 Uhr erkundigte sich der Kapitän nach der „Durchstartrate“. Diese wurde von der Platzverkehrslotsin mit 50% in den letzten zehn Minuten angegeben und für einen möglichen Folgeanflug die Landebahn 33 als Option angeboten. Um 13:32 Uhr übermittelte der Tower mit der Freigabe zur Landung die letzten Winddaten: Wind aus 290 Grad mit 29 Knoten, Spitzen bis 47 Knoten.³⁰⁷



Abbildung 49: Bodenberührung der linken Tragfläche des Airbus A320-211 in Hamburg. (Quelle: Lars Tretau)

Der Anflug erfolgte bis zu einer Flughöhe von 940 Fuß über Grund mit Hilfe des Autopiloten, danach übernahm die 24-jährige Kopilotin die Steuerung und setzte den Endanflug manuell fort. Kurz vor dem Aufsetzen, nachdem die Pilotin das Flugzeug mit Hilfe des Seitenruders in Landebahnrichtung ausgerichtet hatte, wurde plötzlich die rechte Tragfläche angehoben. Der Flugschreiber registrierte um 13:33:33 Uhr das Aufsetzen des linken Hauptfahrwerkes und um 13:33:35 Uhr einen Rollwinkel von 23° nach links trotz vollem Ausschlag beider Sidesticks nach rechts und rechtem Seitenrudder (siehe Abbildung 49).³⁰⁸

Die Kopilotin entschloss sich zu einem Durchstarten des Flugzeuges, gab das Kommando zum „Go-Around“ und schob die Triebwerksregler in die Position

³⁰⁷ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 4.

³⁰⁸ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 4-5 und S. 63.

TO/GA (Take-Off/Go-Around). Der Kapitän übernahm sofort mit den Worten „Go-Around, I have control“ die Steuerung und führte das Durchstartmanöver durch.

Die Besatzung führte anschließend einen sogenannten Standard Missed Approach durch und landete schließlich um 13:52 Uhr ohne weitere Komplikationen auf Landebahn 33 des Hamburger Flughafens. Personen kamen nicht zu Schaden, der Airbus A320 wurde jedoch durch die Bodenberührung beim ersten Landeversuch am linken Tragflächenende beschädigt.³⁰⁹

Nach anfänglicher Euphorie über die Leistung der Cockpitbesatzung, machten kurze Zeit später Zweifel über das fliegerische Können der damals 24-jährigen Kopilotin die Runde und selbst die Prüfer der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) glaubten lange an einen Flugfehler, verursacht durch das Orkantief „Emma“.³¹⁰

Zwei Jahre untersuchten die Experten der BFU den Zwischenfall und kamen schließlich in ihrem Abschlussbericht³¹¹, der am 2. März 2010 fertiggestellt wurde, zu einem überraschenden Schluss, der die Schuld an dem Vorfall dem Flugzeughersteller Airbus Industrie übertrug.

Ursache für die Schräglage mit anschließendem Bodenkontakt der Tragfläche war eine nicht dokumentierte Eigenart der Bordcomputer des Airbus A320. Mit der ersten kurzen Bodenberührung des linken Hauptfahrwerkes wurde die Lateral-Steuerung (Quer- und Seitenruder) innerhalb von 0,5 Sekunden aus dem sogenannten Flight Mode in den Ground Mode versetzt. In diesem Bodenmodus sind jedoch die Einschläge von Quer- und Seitenruder aus Sicherheitsgründen auf ca. die Hälfte des Normalausschlages begrenzt – ohne dass die Piloten dabei etwas dagegen unternehmen könnten. Die Cockpitbesatzung hatte somit für 3,5 Sekunden keine Möglichkeiten das Flugzeug gegen den starken Seitenwind zu drehen und kippte folglich mit der linken Tragfläche auf die Landebahn. Erst als die Kopilotin durchgestartet hatte, schaltete der Bordcomputer wieder in den Flight Mode und gab die Quer- und Seitenrudersteuerung frei.³¹²

Die Spezialisten der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung zogen in ihrem Bericht folgende Schlussfolgerungen:

³⁰⁹ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 5.

³¹⁰ Vgl. Traufetter, Gerald (2010): Beinahe-Crash in Hamburg – Ermittler werfen Airbus mangelhafte Piloten-Information vor. In: SPIEGEL ONLINE (04. März 2010, 13:24 Uhr).

³¹¹ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010).

³¹² Vgl. Traufetter, Gerald (2010): Beinahe-Crash in Hamburg – Ermittler werfen Airbus mangelhafte Piloten-Information vor. In: SPIEGEL ONLINE (04. März 2010, 13:24 Uhr).

- *„Die Lateral-Steuerung des Flugzeuges schaltete nach dem ersten Aufsetzen mit dem linken Hauptfahrwerk vom Flight Mode in den Ground Mode, obwohl sich das Flugzeug wieder in der Luft befand.*
- *Konzeptionell war das Flugzeug so ausgelegt, dass die Wirksamkeit der Steuerung um die Längsachse nach Aufsetzen des ersten Hauptfahrwerks auf ca. die Hälfte des Vollausschlages reduziert war.*
- *Die reduzierte Wirkung der Steuerung war in der Systembeschreibung der lateralen Steuerung nicht dokumentiert und den Piloten sowie den Trainingsabteilungen nicht bekannt.*
- *Das Systemverhalten des Flugzeuges trug dazu bei, dass das Flugzeug bei dem Landeanflug in eine für die Piloten nicht gewollte und unvorhergesehene Fluglage kam bzw. die Bodenberührung mit der Tragfläche nicht mehr zu verhindern war.“*³¹³

In einer von insgesamt zwölf Sicherheitsempfehlungen wurde der Flugzeughersteller daher aufgefordert, eine Analyse der Logik für das Umschalten der Lateral-Steuerung durchzuführen. Airbus Industrie soll sicherstellen, dass die Steuerung nur dann vom Flight Mode in den Ground Mode umschaltet, wenn das Flugzeug auch tatsächlich am Boden ist.³¹⁴

Der Bericht der BFU entlastet die Cockpitbesatzung und hält dazu fest:

*„Aus Sicht der BFU war diese kurze Zeitspanne gekennzeichnet durch eine komplexe und komprimierte Ereignisdichte. Die Entscheidung für den „Go-Around“ in dieser Situation sowie dessen Durchführung waren professionell, folgerichtig und korrekt.“*³¹⁵

4.3 Die Sicherheit des Airbus im internationalen Vergleich

Airbus führte 1982 als erster ziviler Flugzeughersteller mit dem Airbus A310 das sogenannte gläserne Cockpit ein. Die Piloten konnten fortan die wichtigsten Zustandsanzeigen wie Höhe, Geschwindigkeit, Richtung und Lage im Raum von Bildschirmen im Cockpit ablesen. 1987 warf dann das europäische Konsortium mit dem Airbus A320, der heute auch in der Version A318, A319 und A321 angeboten wird, fast alle bis dato gepflegten Traditionen über Bord.

³¹³ Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 64.

³¹⁴ Vgl. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 69.

³¹⁵ Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010), S. 64.

Datum	Flugzeugtyp	Fluglinie	Personen an Bord	Tote
21.09.1987	A300B4-203	Egypt Air	5	5
03.07.1988	A300B2-203	Iran Air ³¹⁶	290	290
28.09.1992	A300B4-203	PIA	167	167
26.04.1994	A300B4-622R	China Airlines	271	264
26.09.1997	A300B4-220	Garuda Indonesia	234	234
16.02.1998	A300B4-622R	China Airlines	196	196
12.11.2001	A300B4-605R	American Airlines	260	260
13.04.2010	A300B4-203 (F)	AeroUnion	5	5
31.07.1992	A310-304	Thai Airways	113	113
23.03.1994	A310-308	Aeroflot	75	75
31.03.1995	A310-324 (ET)	TAROM	60	60
11.12.1998	A310-204	Thai Airways	146	101
30.01.2000	A310-304	Kenya Airways	179	169
09.07.2006	A310-324 (ET)	S7 Airlines	203	125
10.06.2008	A310-324	Sudan Airways	214	30
30.06.2009	A310-324	Yemen Airways	153	152
26.06.1988	A320-111	Air France	136	3
14.02.1990	A320-231	Indian Airlines	146	92
20.01.1992	A320-111	Air Inter	96	87
14.09.1993	A320-211	Lufthansa	70	2
23.08.2000	A320-212	Gulf Air	143	143
03.05.2006	A320-211	ARMAVIA	113	113
17.07.2007	A320-233	TAM Linhas Aéreas	187	187
30.05.2008	A320-233	TACA International	134	3
27.11.2008	A320-232	XL Airways Germany	7	7
28.07.2010	A321-231	Airblue	152	152
30.06.1994	A330-322	Airbus Industrie	7	7
01.06.2009	A330-203	Air France	228	228
12.05.2010	A330-203	Afriqiyah Airways	104	103

Tabelle 10: Übersicht aller Airbus Unfälle mit Todesfolge. (Quelle: Alexander Zdravkowsch)

³¹⁶ Der Airbus A300B2-203 der Iran Air wurde über dem Persischen Golf nahe Qeshm von dem US-Kriegsschiff USS Vincennes (CG-49) durch zwei Flugabwehrraketen vom Typ SM-2 abgeschossen.

Die Displays wurden größer und ersetzten alle herkömmlichen Rundinstrumente. Die Steuerbefehle der Cockpitbesatzung werden anstelle von Seilzügen nun über Kabel und elektrische Impulse an die Ruder übermittelt. Und zu guter Letzt wurde auch noch das alte Steuerhorn durch den Sidestick ersetzt. Im Cockpit des Airbus A320 überwachen außerdem mehrere Flugcomputer die Eingaben der Piloten und führen nur jene Manöver aus, die von ihnen als zulässig eingestuft werden.³¹⁷

Angesichts der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Unfälle stellt sich nun die Frage, ob das modernste Verkehrsflugzeug, das von Airbus in Werbekampagnen als „praktisch nicht abstürzbar“ angepriesen wurde, in Wirklichkeit nicht eines der gefährlichsten ist?

Für die Beantwortung der Frage soll ein Vergleich mit anderen Flugzeugtypen herangezogen werden. International durchgesetzt hat sich dabei eine Rate, die die Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge angibt. Tabelle 10 enthält eine Übersicht jener Flugunfälle an denen ein Flugzeug von Airbus Industrie beteiligt war. Neben dem Datum des Unglücks, Flugzeugtyp und der Fluglinie sind in Spalte 4 die Anzahl der Personen (Besatzung und Passagiere) die sich zum Unglückszeitpunkt an Bord befunden haben sowie in Spalte 5 die Anzahl der Verunglückten angeführt.

Für die Unfallrate sind folgende Besonderheiten zu berücksichtigen:

- Bei den Unfällen am 21.09.1987 (Egypt Air Airbus A300B4-203), 30.06.1994 (Airbus Industrie A330-322) sowie 27.11.2008 (XL Airways Germany A320-232) handelte es sich um Test- bzw. Trainingsflüge ohne Passagiere. Diese Flüge sind der Vollständigkeit halber angeführt, scheinen in der Statistik aber nicht auf.
- Bei dem Unglück am 13.04.2010 (AeroUnion A300B4-203 (F)) handelte es sich um ein Frachtflugzeug ohne Passagiere. Dieser Vorfall wird daher ebenfalls in der Statistik nicht berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt wird für jedes Flugzeugunglück der sogenannte Full Loss Equivalent (FLE) berechnet. Dabei handelt es sich um einen Prozentsatz der angibt, wie viele Personen im Verhältnis zur Gesamtanzahl, der zum Unfallzeitpunkt an Bord befindlichen Besatzungsmitglieder und Passagiere, verunglückt sind. Beispiel: Verunglücken bei einem Flugzeugunglück 30 Personen, während 70 Personen überleben, so entspricht dies einem FLE von 0,30, d.h. 30% haben nicht überlebt.

³¹⁷ Vgl. Franke, Klaus (1994): Luftfahrt: Schwarze Serie am Himmel. In: Der Spiegel. Nr. 33, 15.08.1994. S. 160.

Die Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge ergibt sich somit aus Gesamtsumme der FLE pro Flugzeugtyp dividiert durch die Anzahl der Flüge in Millionen. In der nachfolgenden Tabelle 11 wurde diese Rate mit aktuellem Zahlenmaterial von Airbus Industrie mit Stand 31. März 2010 berechnet.

Flugzeugtyp	Rate	Anzahl der Flüge (in Millionen)	FLE	Events
Airbus A340	0,000	2,053 Mio	0,00	0
Airbus A380	0,000	0,015 Mio	0,00	0
Airbus A318/A319/320/321	0,097	47,495 Mio	4,61	8
Airbus A330	0,269	3,718 Mio	1,00	1
Airbus A300 ↓	0,549	10,883 Mio	5,97	6
Airbus A310 ↓	1,582	4,037 Mio	6,39	8

Tabelle 11: Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge (Airbus). In der Spalte „Events“ ist die Anzahl der Unfälle mit Todesfolge je Flugzeugtyp angeführt. „FLE“ (Full Loss Equivalent) gibt an, wie viele Totalverluste sich daraus ergeben. (Quelle: Airbus Industrie, Stand: 31. März 2010, ↓ Produktion eingestellt)

Zu beachten ist, dass die Unglücke vom 12.05.2010 (Afriqiyah Airways A330-203) sowie 28.07.2010 (Airblue A321-231) nicht in der Tabelle aufscheinen, da diese Unfälle erst nach dem 31.03.2010 passiert sind. Bei einer Neuberechnung mit aktualisiertem Zahlenmaterial von Airbus kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge für die Airbus Modellreihe A318/A319/A320/A321 auf ca. 0,112³¹⁸ erhöhen und für das Langstreckenmodell A330 fast verdoppeln wird.

Tabelle 12 enthält zum Vergleich die entsprechenden Raten des Mitbewerbers Boeing sowie anderer vergleichbarer Flugzeugtypen.

Fazit: Der Airbus A320 (inkl. der zur A320-Familie gehörenden Muster A318, A319 und A321) zählt heute, mit einer Rate von 0,097 Totalverlusten (oder inkl. Airblue Absturz ca. 0,112) pro eine Million Flüge, zu den sichersten und zuverlässigsten Verkehrsflugzeugen der Welt. Gemeinsam mit dem Airbus A340, Airbus A380 sowie der Boeing 777 belegt er einen Spitzenplatz in den entspre-

³¹⁸ Airbus Industrie gab in einer Pressemitteilung vom 22. Juni 2010 bekannt, dass die Airbus A320-Familie (Airbus A318/A319/A320/A321) die Anzahl von 50 Millionen Revenue Take-Offs überschritten hat. (Quelle: www.airbus.com, A320 Family tops 50 million flights, 22 June 2010)

chenden Statistiken und ist zudem mittlerweile eines der meist verkauften Flugzeuge.³¹⁹

Flugzeugtyp	Rate	Anzahl der Flüge (in Millionen)	FLE	Events
Boeing 777	0,00	4,17 Mio	0,00	0
Boeing 737-600/700/800/900	0,17	23,53 Mio	4,00	5
Boeing 737-300/400/500 ↓	0,19	62,96 Mio	12,16	16
Fokker 70/100 ↓	0,21	8,99 Mio	1,87	4
McDonnell Douglas MD-80/MD-90 ↓	0,25	40,00 Mio	9,96	16
Boeing 757 ↓	0,28	19,23 Mio	5,40	7
Boeing 767	0,38	14,63 Mio	5,50	6
Lockheed L-1011 TriStar ↓	0,48	5,33 Mio	2,54	5
Boeing 727 ↓	0,49	76,27 Mio	37,20	48
McDonnell Douglas MD-11 ↓	0,52	1,95 Mio	1,02	3
McDonnell Douglas DC-9 ↓	0,57	62,33 Mio	35,40	44
Boeing 737-100/200 ↓	0,58	57,49 Mio	33,53	47
McDonnell Douglas DC-10 ↓	0,66	8,91 Mio	5,91	15
Boeing 747	0,74	18,47 Mio	13,73	28
Fokker F-28 Fellowship ↓	1,67	9,25 Mio	15,45	21
BAe/Aérospatiale Concorde ↓†	11,36	0,09 Mio	1,00	1

Tabelle 12: Anzahl der Totalverluste pro eine Million Flüge (International). (Quelle: http://www.airsafe.com/events/models/rate_mod.htm, Stand: 31. Dezember 2008, ↓ Produktion eingestellt, † Flugbetrieb eingestellt)

Die anfänglichen Zwischenfälle des Airbus A320 werden von Johannes Weyer, Professor für Techniksoziologie an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dortmund, als die „Lehrjahre“ von Airbus bezeichnet und er hält dazu fest:

*„Wie bei anderen radikalen Innovationen vollzog sich auch diese Entwicklung als ein Lernprozess in Form von Realexperimenten in und mit der Gesellschaft.“*³²⁰

³¹⁹ Vgl. Weyer, Johannes (2008), S. 250.

³²⁰ Weyer, Johannes (2008), S. 250.

5 Automation in modernen Verkehrsflugzeugen

Auch unter der Annahme, dass die Technik perfekt funktioniert, ist die Belastung der heutigen Piloten kaum geringer geworden. Die Rationalisierung von Funk und Navigation ist leicht verständlich und durch entsprechende Automatisierung auch durchaus verkraftbar. Für viele ältere Piloten war jedoch die Einsparung des Flugingenieurs vor mittlerweile fast 25 Jahren ein unverantwortlicher Akt der Flugzeugkonstrukteure. Nicht nur, dass sich die Arbeitsbelastung der Piloten erhöhte, wurde auch die zusätzliche Überwachung des Luftraums durch den dritten Mann vermisst. Gerade in der Nähe der Flughäfen sind Kapitän und Kopilot durch das Verlesen und Abarbeiten der Checklisten überproportional ausgelastet, sodass sie möglicherweise zu wenig Zeit haben, um Gefahrenpotentiale im Luftraum visuell zu erfassen.

Zweifellos kann gesagt werden, dass der Einsatz von Computern in modernen Verkehrsflugzeugen der Cockpitbesatzung mehr Zeit lässt, um sich auf andere Aufgaben zu konzentrieren. Das ist allerdings nur dann der Fall, wenn keine außergewöhnlichen Umstände auftreten. Bei Störungen muss der Pilot die Funktion eines Technikers übernehmen damit er beurteilen kann, ob die vom Computer registrierte Situation ein Eingreifen seinerseits nötig macht, der Flug fortgesetzt werden kann oder abgebrochen werden muss. Diese Entscheidung nimmt jedoch Zeit in Anspruch, in der er seiner normalen Tätigkeit – dem Fliegen – nicht nachkommen kann. Dies ist aber sicher nicht im Sinne des Herstellers und der Konstrukteure.

Ob die Arbeit des Piloten heutzutage nicht mehr als die eines Managers oder Programmierers ist, ist eine Frage, die in diesem Zusammenhang ebenfalls gestellt werden muss. Gilt das Weltbild des Piloten als wagemutiger Bezwingler des Luftraumes noch? Wenn nein, was ist er dann? Der heutige Pilot kämpft in erster Linie nicht mehr gegen die Unwetterfronten, Stürme und Gewitter an, die für seine Vorgänger der zwanziger und dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts so lebensentscheidend waren, sondern gegen die Meinungsverschiedenheiten zwischen ihm und dem rein wirtschaftlich orientierten Management.

5.1 Das Berufsbild des Verkehrspiloten

Aufgabe eines Linienpiloten ist es, Flugzeuge der zivilen Verkehrsluftfahrt unter Beachtung der gesellschaftsinternen, nationalen und internationalen Bestimmungen sowie Regeln zu führen. Die Aufgabenbereiche werden unter besonderer

Berücksichtigung der Berufserfahrung des entsprechenden Flugzeugführers festgelegt: Je größer die Erfahrung ist, desto verantwortungsvoller sind die Aufgaben. Dieses sogenannte Senioritätsprinzip wird heutzutage bei vielen Luftverkehrsgesellschaften erfolgreich angewendet.

Fast alle Verkehrsflugzeuge werden heute von zwei voll lizenzierten Piloten geführt. Lediglich auf einigen älteren Flugzeugtypen ist zusätzlich noch ein Flugingenieur Teil der Standardbesatzung. Der Kapitän trägt die Gesamtverantwortung und hat während des Fluges vom Start bis zur Landung die Entscheidungsgewalt. Seiner Autorität unterstehen alle an Bord befindlichen Personen – sowohl Besatzung, als auch Passagiere. Der zweite Flugzeugführer – Erster Offizier oder auch Kopilot genannt – ist Stellvertreter des Kapitäns und übernimmt in dessen Abwesenheit die Verantwortung für Flugzeug, Besatzung und Fluggäste. Im Normalbetrieb ist er verantwortlich für alle an ihn delegierten und ihm durch Vorschriften regelmäßig zugeordneten Aufgaben. Die Teamarbeit, die ein wesentliches Merkmal in allen Bereichen des Luftverkehrs ist, wird im Cockpit besonders deutlich und ist für die korrekte sowie sichere Durchführung aller Aufgaben während des Fluges unerlässlich. Die einzelnen Arbeitsabläufe müssen reibungslos ineinandergreifen.³²¹

5.1.1 Tätigkeitsmerkmale

Die Aufgabengebiete für Linienpiloten werden von den Luftfahrtunternehmen nach den gesetzlichen Bestimmungen festgelegt und trennen den Einsatz als verantwortlicher Flugzeugführer (Kapitän) oder als Erster Offizier (Kopilot). Zu den allgemeinen Tätigkeiten gehören die Vorbereitungen, die für den Flug getroffen werden müssen. Jedes Mitglied der Cockpitbesatzung macht sich anhand verfügbarer Unterlagen (Kartenmaterial, Streckenbeschreibungen, Wettermeldungen) mit dem zu fliegenden Streckenabschnitt vertraut. Zu diesem Zweck trifft sich die Besatzung, je nach Flugzeugtyp ein bis eineinhalb Stunden vor Abflug, zu einem sogenannten Briefing. Dabei werden abhängig von Flug und der Streckenlänge folgende Informationen eingeholt bzw. geklärt:

- Flugwetter einholen und nach vorgeschriebenen Minima beurteilen (Streckenwetter, Windvorhersagekarten, Wettermeldungen von Ziel- und Ausweichflughafen),
- NOTAM's (Notice to Airmen) auf relevante Information überprüfen. In den NOTAM's finden sich Informationen über z.B. Bau- oder Reparaturarbeiten

³²¹ Vgl. Braunburg, Rudolf (1991), S. 254.

- an Vorfeldern, Rollwegen, Landebahnen, Befeuerungsanlagen oder Ausfälle von Funkfeuern,
- Erstellen des Flugplanes,
 - Festlegen der notwendigen Treibstoffmenge.

Anschließend folgt eine Besprechung mit der Kabinenbesatzung. Dabei werden mögliche Besonderheiten des Fluges und die Zusammenarbeit zwischen Cockpit- und Kabinenbesatzung im Normal- sowie Ausnahmefall besprochen. Bei der Übernahme des Flugzeuges hat die Besatzung die Aufgabe sich vom verkehrssicheren Zustand der Maschine zu überzeugen und die Vollständigkeit der Notausrüstung zu überprüfen. Anschließend kontrolliert der Kapitän anhand seiner Unterlagen die Beladung, Betankung und den Schwerpunkt seines Luftfahrzeuges. Mit seiner Unterschrift bestätigt er deren Korrektheit und zeichnet damit verantwortlich für den Flug.³²²

5.1.2 Ausübungs- und Aufstiegsformen

Nach der Ausbildung ergeben sich für die angehenden Linienpiloten bei einem Großteil der Luftverkehrsgesellschaften folgende Tätigkeitsprofile in der Reihenfolge des Einsatzes:

- Zweiter Offizier: Flugzeugführer, der die Lizenz als Verkehrspilot besitzt und sich in der fliegerischen Ausbildung zum Ersten Offizier befindet.
- Erster Offizier: Flugzeugführer, der zusätzlich zur oben angeführten Lizenzierung die Musterberechtigungsprüfung für einen bestimmten Flugzeugtyp besitzt (Type Rating) und verantwortlich als Kopilot im kommerziellen Luftverkehr eingesetzt wird.
- Senior First Officer: Dieser übernimmt auf extremen Langstreckenflügen (ab ca. 12 Stunden planmäßige Flugzeit), die mit mehr als zwei Piloten geflogen werden, im Reiseflug die Verantwortung über das Luftfahrzeug während einer Ruhepause des Kommandanten. Er ist dem Ersten Offizier in der Hierarchie vorgesetzt.
- Verantwortlicher Flugzeugführer (Kapitän): Flugzeugführer, der die Lizenz als Verkehrsflugzeugführer (ATPL, Airline Transport Pilot License), die Langstreckenberechtigung und die erforderlichen Musterberechtigungen besitzt und nach der erfolgreichen Teilnahme am Kapitänstraining ernannt wird.³²³

³²² Vgl. Braunburg, Rudolf (1991), S. 254.

³²³ Vgl. Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 200-206.

Die Ernennung zum Kapitän richtet sich – abgesehen vom Bedarf – nach dem Ausbildungs- und Erfahrungsstand, nach den im Besitz befindlichen Lizenzen und Berechtigungen, der Flugzeugmustererfahrung, der Beurteilung hinsichtlich Eignung und Qualitäten und nach dem Dienstalter (Seniorität). Durch die zeitlich begrenzte Gültigkeit des ATPL (24 Monate) und der Musterberechtigung (12 Monate) ergibt sich für die Cockpitbesatzung eine das gesamte Berufsleben durchziehende Prüfungssituation. Alle sechs Monate wird im Simulator das Verhalten der Piloten in allen möglichen Standard- und Extremsituationen geprüft. Darüber hinaus muss auf regulären Linienflügen ein Checkflug mit zwei Streckenabschnitten pro Jahr absolviert werden. Diese Flüge werden von entsprechend ausgebildeten Trainingskapitänen begleitet.³²⁴

5.2 Ursachenfaktor Mensch

Der Luftfahrtpsychologe Dr. Martin Allnutt untersuchte Ende der 1970er Jahre das Fehlverhalten von Piloten und vermittelte einen Überblick über einige der grundlegenden Voraussetzungen menschlicher Verhaltensforschung. Der Begriff „Pilotenfehler“ wurde dabei definiert als:

*„Versagen in der Koordination und im fliegerischen Verhalten, oder als Folge mangelnder Wachsamkeit und Beobachtungsvermögens, oder Mangel an Intelligenz und Urteilsvermögen, oder auch als ein Merkmal, das von Persönlichkeitsstruktur und Veranlagung beeinflusst [sic!] wird.“*³²⁵

Seine Erkenntnisse wurden und werden auch heute noch in der Flugunfalluntersuchung sowie Forschung verwendet.

Um zu klären, warum es überhaupt zu Unfällen kommt, versuchte er das Bild eines „Normalpiloten“ zu erstellen. Im Wesentlichen kann jedoch die Grundlage dieser Methode mit der offensichtlichen Wahrheit zusammengefasst werden, dass alle Piloten eben nur Menschen sind. Des Weiteren wurde erkannt, dass Fehler der Piloten nicht individuell verschieden sind, sondern dass gewisse Piloten zu bestimmten Fehlern neigen. Diese können wiederum gegliedert werden in z.B. Fehler bei der Informationsverarbeitung, Täuschung, falsche Annahmen, Gewohnheit, mangelnde Motivation sowie Anspannung, Stress und Ermüdung.³²⁶

³²⁴ Vgl. Braunburg, Rudolf (1991), S. 254.

³²⁵ Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 14.

³²⁶ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 15.

Das Wahrnehmen, Erkennen und richtige Einschätzen von Information ist ein Risikofaktor im Flugverkehr. Daher ist es besonders wichtig, die Reaktion von Piloten auf bestimmte Ereignisse zu testen. Um Informationen überhaupt verarbeiten zu können, muss diese zuerst wahrgenommen werden und dazu benötigt der Mensch funktionierende Sinnesorgane. Zusätzlich muss das wahrgenommene Signal erkannt werden, das heißt, dass der Sinn – z.B. das gesprochene Wort – richtig gedeutet wird. Damit es aber soweit kommt, ist es erforderlich, dass der Pilot aufmerksam seine Umwelt beobachtet.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Mensch nur über einen einzigen Entscheidungskanal verfügt, durch den alle Informationen der Reihe nach hindurch müssen. Das bedeutet, dass bei mehreren gleichzeitig ankommenden Informationen immer nur eine verarbeitet werden kann und alle nachfolgenden in einer Warteschlange (Kurzzeitgedächtnis) auf ihre Abarbeitung warten müssen. Aus diesem Grund kommt es auch zu Verzögerungen bei der Verarbeitung von Information. Bei einer Flut von Reizen kann es dazu kommen, dass der Pilot einige Informationen vergisst und durch eine Überbelastung dieses einen Kanals in Hektik gerät.

Falls der Pilot die Information bis hierher zur Kenntnis genommen und verstanden hat, muss er jetzt eine Entscheidung treffen. Die Entscheidung selbst hängt jedoch sehr von der momentanen Situation ab, in der sich die betreffende Person gerade befindet. Die letzte Möglichkeit, dass eine Information nicht richtig ankommt oder verarbeitet wird, ist die Ausführung bzw. Reaktion. So kann es vielleicht vorkommen, dass der Pilot zwar weiß, was er zu tun hat, aber aus den verschiedensten Gründen doch etwas Falsches macht.³²⁷ Ein Beispiel hierfür wäre das Flugzeugunglück bei Straßburg. Der Pilot wollte einen Sinkwinkel von 3,3 Grad programmieren, hat aber aus Gründen der Unübersichtlichkeit im Cockpit eine Sinkrate von 3.300 Fuß eingegeben (vgl. Kapitel 4.2.4 Straßburg (Frankreich), 20. Jänner 1992).

Heutzutage wird zur Kommunikation Mensch-Maschine hauptsächlich der optische Kanal des Menschen benutzt, der akustische nur in geringem Maß und der taktile, nach dem Ersetzen des Steuerhorns durch den Sidestick im Airbus A320, liegt völlig brach. Durch dieses Überangebot an optischen Informationen wird der Zugriff auf wesentliche Daten erschwert. Das bewirkt laut Christian Kepp, Kapitän der Deutschen Lufthansa AG und Mitglied der Arbeitsgruppe Unfallanalyse bei der Pilotenvereinigung Cockpit, dass in komplexen Situationen die-

³²⁷ Vgl. Alhnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 15-20.

ser Kommunikationskanal dramatisch verfrüht wegen Überlastung zusammenbricht.³²⁸

5.2.1 Visuelle Wahrnehmungstäuschungen

Die meisten Informationen nimmt der Pilot mit den Augen wahr. Jedoch unterliegt jeder Mensch alltäglich einer Fülle von visuellen Täuschungen. Einige dieser Täuschungen sind beispielsweise:

- Lichtbrechung: Hervorgerufen durch die Krümmung der Windschutzscheibe oder der darauf befindlichen Regentropfen,
- Nebel: Gegenstände können größer und weiter entfernt erscheinen als gewöhnlich,
- Geländestruktur: Durch besonders große Gebäude, verkrüppelte Bäume, stehende Gewässer oder geringe Kontraste – z.B. durch Schnee – kann es zu Fehleinschätzungen kommen,
- Scheinbewegungen (autokinetisches Phänomen): Ein stationäres Licht in einer dunklen Umgebung scheint sich – nach längerem Hinsehen – zu bewegen.

Solche visuellen Täuschungen werden noch zusätzlich verstärkt durch:

- Vollständige Dunkelheit,
- einen langen Direktanflug auf einen Flughafen, der in unmittelbarer Nähe zu einer Stadt liegt,
- eine Landebahn von ungewöhnlicher Länge oder Breite,
- eine Landebahn mit Steigung oder Gefälle, wobei der Pilot annimmt, dass die Bahn horizontal ist und er daher mit einem falschen Winkel anfliegt oder
- ein ausgedehntes Stadtgebiet mit Vororten und unregelmäßigen Lichtquellen auf Hügeln hinter der Landebahn. Dies liefert den Piloten falsche Bezugspunkte bezüglich Höhe und Entfernung.³²⁹

5.2.2 Die falsche Hypothese

Es kann vorkommen, dass der Mensch auf Grund verschiedenster Umstände falsche Hypothesen aufstellt. Zum Beispiel erkennt ein Pilot Lichter unter sich

³²⁸ Vgl. Blau, Wolfgang (Hrsg.) (1994): „Wir sind nicht zum Fliegen geboren“ – Interview mit Bernard Ziegler, dem Technikvorstand von Airbus. In: ZEIT ONLINE (Die Zeit 21.10.1994 Nr. 43).

³²⁹ Vgl. Alnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 20-23.

und vermutet, dass diese zum Flughafen A gehören. Meistens wird das auch stimmen doch irgendwann kann es sein, dass er sich geirrt hat und die Lichter zum Flughafen B gehören. Durch diesen Irrtum beginnt er den Landeanflug, der für diesen Flughafen typisch wäre, falsch anzusetzen. Die Gründe, warum es zu solchen falschen Hypothesen kommen kann sind vor allem folgende:

- Wenn die Erwartungshaltung sehr hoch ist: Wenn die Besatzung gewohnt ist, auf eine bestimmte Situation schematisch zu reagieren, so wird sie das auch dann tun, wenn für diese Situation eine andere Reaktion erforderlich wäre.
- Wenn die Hypothese als Ausrede und Verteidigung dient: Bei einer Meinungsverschiedenheit beharrt jeder auf seiner Hypothese, nur um nicht nachgeben zu müssen, auch wenn er mit der Zeit erkennt, dass seine Hypothese tatsächlich unlogisch und falsch ist. Das Verwerfen dieser erfolgt erst, wenn es schon zu spät ist und ein Unfall unmittelbar bevorsteht.
- Wenn die Aufmerksamkeit abgelenkt ist: Wenn der Pilot sich auf mehrere Informationen konzentrieren muss, wird er bestimmte Informationen für nicht mehr so wichtig ansehen.
- Nach Zeiten hoher Konzentration: Wenn eine Situation, die eine besondere Konzentration erforderte, erfolgreich abgeschlossen werden konnte, werden die nachfolgenden Situationen viel unkonzentrierter und überheblicher angegangen werden. Aber nur allzu oft geschieht genau zu diesem kritischen Zeitpunkt ein Unfall.³³⁰

5.2.3 Der Mensch als „Gewohnheitstier“

Je öfter eine Handlung in einer bestimmten Weise in der Vergangenheit durchgeführt wurde, umso wahrscheinlicher wird diese auch künftig in dieser Art ausgeführt werden. Daher werden dem Piloten in der Ausbildung ganze Handlungsgruppen von Handgriffen antrainiert, damit er vergleichsweise leichten Aufgaben keine übermäßige Aufmerksamkeit schenken muss. Da jedoch verschiedene Handlungen automatisch ablaufen sollen, ist es wichtig, diese immer wieder zu wiederholen, bis diese vollständig in das Unterbewusstsein übergegangen sind. Sinnvoll sind solche trainierten Handlungen aber nur dann, wenn sie in ein und derselben Situation immer richtig sind.

Zum Beispiel waren früher alle Bedienungselemente in den Cockpits der unterschiedlichsten Flugzeuge ähnlich angeordnet und gleich zu bedienen. Mit der Ein-

³³⁰ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 23-27.

führung des Airbus A320 wurde jedoch diese Tradition durch den Hersteller bewusst über Bord geworfen. Muss nun ein Pilot von einem Flugzeug – das er jahrelang geflogen hat – auf ein anderes wechseln, so kann er seine antrainierten Handlungen nicht einfach vergessen oder durch andere ersetzen. Vielmehr müssen frühere und nicht mehr passende Gewohnheiten mühevoll ausgemerzt werden. Sobald er jedoch in eine Stresssituation gerät, würde er höchstwahrscheinlich in das Verhaltensmuster fallen, das er sich bei der vorherigen Maschine angeeignet hatte.

Durch die heutige Vereinheitlichung und Standardisierung der Flugzeuge ist es möglich, Notfälle zu trainieren, die bei allen Flugzeugtypen desselben Herstellers gleiche Handlungen erfordern. Dieses Trainieren erfolgt unter anderem in den Flugsimulatoren. Ein Nachteil dieser Simulatoren liegt aber darin, dass sie den Schock, der bei einem Luftnotfall auftritt, beim Piloten nicht hervorrufen kann. Es stellt sich auch die Frage, ob der Pilot in einer echten Notsituation genauso besonnen reagiert, wenn er mit der Möglichkeit seines Todes in der Realität konfrontiert ist. Aber gerade dieser emotionale Schock veranlasst Menschen zu gänzlich ungewöhnlichen Aktionen.³³¹

5.2.4 Motivation

Ein Vorteil den der Mensch gegenüber einer Maschine besitzt ist jener, dass der Mensch sich motivieren kann und so alles Mögliche unternehmen wird, um eine Gefahr zu meistern. Bei einer Maschine hingegen sind für bestimmte Situationen ganz bestimmte Handlungsaktionen definiert. Wenn diese jedoch versagen, kommt es unweigerlich zu einem Fehlverhalten. Das Aktivitätsniveau des Menschen wird durch viele verschiedene innere und äußere Kräfte bestimmt, wobei eine dieser inneren Kräfte die Motivation ist. Zwei wichtige Gesichtspunkte der Motivation sind ihre Stärke und Zielrichtung.

- **Stärke der Motivation:** Die besten Leistungen erzielt ein Mensch, wenn sein Aktivitätsniveau in der Mitte angesiedelt ist. Das bedeutet, dass er weder in Richtung Tagtraum noch in Richtung Panik tendiert. Ist das Aktivitätsniveau zu niedrig, ist die Tatkraft unzureichend. Es kann passieren, dass sich der Pilot zu selbstsicher fühlt und so auf einfachste Aufgaben – wie z.B. das Ausfahren des Fahrwerks – vergisst. Ist es jedoch zu hoch, werden die Aktionen ziel- und somit zwecklos. Weiters wird der eine Kanal für die Verarbeitung der ankommenden Informationen (Entscheidungska-

³³¹ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 27-31.

nal) blockiert und der Pilot versteift sich auf eine bestimmte Handlung, obwohl eine andere Aktion offensichtlicher und zielführender wäre.

- Zielrichtung der Motivation: Es gibt für den Piloten nicht nur das Ziel unfallfrei von einem Flughafen zum anderen zu fliegen, sondern es wirken auch noch zahlreiche andere Faktoren auf ihn wie z.B. der Erfolgsdruck, „Manesehre“, gesellschaftliche Erwartungen, erhoffte Bewunderung, sodass dieser möglicherweise ein erhöhtes Risiko eingehen würde. Auch durch falschen Stolz und übertriebenen Ehrgeiz gab es schon Flugzeugunfälle mit zahlreichen Toten.³³²

5.2.5 Stress und belastende Umwelteinflüsse

In der Literatur werden drei Stressarten unterschieden:

- physischer Stress (Temperatur, Vibration, Turbulenz oder Luftfeuchtigkeitsmangel),
- physiologische Belastungen (Schlafentzug oder Schlafstörungen, unregelmäßige Essgewohnheiten und die Wirkung von Genussmitteln wie Alkohol, Nikotin usw.) sowie
- psychischen Stress (Furcht, Frustration sowie gesellschaftliche und kommerzielle Zwänge).³³³

Diese Stressfaktoren wirken sich hauptsächlich dann aus, wenn Tätigkeiten, die nicht zur Routine gehören, ausgeführt werden. Im Falle eines Unfalls ist es sehr schwer beziehungsweise unmöglich, die Gründe auf die Stresssituation des Piloten zurückzuführen, da das Vorhandensein der psychologischen Belastungen nur schwer nachweisbar ist. Der Untersucher der Unfälle möchte Kenntnisse über die Dauer, Höhe und die Plötzlichkeit des Einsetzens der Belastungen erlangen. Dies gestaltet sich aber insofern als schwierig, da selbst bei Kenntnis der einzelnen Stressfaktoren keine Rückschlüsse auf die stressgeladene Gesamtsituation gezogen werden kann. Die Auswirkungen von Stress auf einen Piloten hängen, neben seinem Gesundheitszustand und seiner Befähigung, auch von seiner Persönlichkeit ab. Daher ist es von großer Bedeutung, Piloten zusätzlich auf Grund ihrer Stressresistenz auszuwählen.³³⁴

³³² Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 31-35.

³³³ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 36.

³³⁴ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 35-39.

5.2.6 Ermüdung

Müdigkeit und Erschöpfung äußern sich gewöhnlich in einer erhöhten Reizbarkeit und durch ein vernunftwidriges Handeln. Der körperliche Zustand verschlechtert sich, die Reizschwelle steigt und der Pilot wird seiner Aufgabe weniger genau und weniger aufmerksam nachkommen. Natürlich kann durch das Auftreten von Störungseinflüssen das Auftreten der Müdigkeit beschleunigt werden. Dazu zählen unter anderem eine schlechte Ergonomie des Cockpits, eine hohe Arbeitsbelastung und organisatorische Faktoren wie unerwartete Verschiebungen, unproduktive Zeit und unzulängliche Übernachtungsmöglichkeiten. Diese können durch die psychologische Verfassung des Piloten noch weiter verstärkt werden.

Ein weiteres Problem liegt darin, dass die eigene Ermüdung und die der anderen zwar erkannt wird, es aber häufig zu einem Überschätzen der eigenen Leistungsfähigkeit kommt. Das Nachweisen von Müdigkeit als Unfallursache zeigt sich in der Realität jedoch als nahezu unmöglich.³³⁵

5.3 Probleme bei der Automation im Cockpit

In statistischen Erhebungen wurde festgestellt, dass bei Verkehrsflugzeugen mehr als 70% aller Unfallursachen auf „menschliche Faktoren“ zurückzuführen sind.³³⁶ Menschliche Faktoren können jedoch nicht automatisch mit Schuldfragen gleichgesetzt werden. Ein schuldhaftes Verhalten liegt nur dann vor, wenn der Betroffene bewusst gegen Regeln verstoßen oder von vorgegebenen Verfahren abgewichen ist und dabei einen möglichen Unfall billigend in Kauf genommen hat.³³⁷ Lufthansa Kapitän Christian Kepp relativiert:

„Schuld am Versagen hat immer der Pilot, wenn sich herausstellt, daß [sic!] die von ihm zu beherrschende Technik wie definiert gearbeitet hat. Die Frage, wie gut oder schlecht diese Technik auf seine Belange abgestimmt ist oder ob sie im Einzelfall überhaupt von ihm beeinflussbar [sic!] war, wird dann erst gar nicht mehr gestellt.“³³⁸

Nichtsdestotrotz können die Flugzeugingenieure gegen solche menschlichen Fehler nur schwer ankämpfen und versuchen daher durch immer aufwendigere Automation im Cockpit menschliche Fehlerquellen aus dem System zu eliminie-

³³⁵ Vgl. Allnutt, Martin in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 40-41.

³³⁶ Vgl. Schuberdt, Christian-Heinz (2008), S. 278.

³³⁷ Vgl. Schuberdt, Christian-Heinz (2005), S. 105.

³³⁸ Vgl. Blau, Wolfgang (Hrsg.) (1994): „Wir sind nicht zum Fliegen geboren“ – Interview mit Bernard Ziegler, dem Technikvorstand von Airbus. In: ZEIT ONLINE (Die Zeit 21.10.1994 Nr. 43).

ren. Ob dieser Weg zielführend ist, muss jedoch in Frage gestellt werden. Es gibt heute schon Ansichten, dass der Grad an Automation das Optimum bereits überschritten hat.

Ein Vorteil der Automatisierung liegt in der Kontrolle der Geräte eines Flugzeuges in Echtzeit. Computer sind besonders gut dafür geeignet, innerhalb kürzester Zeit Millionen von Sensoren abzufragen und die Istdaten mit den Sollwerten zu vergleichen. Der Mensch wäre für eine solche Aufgabe zu langsam und macht bei monotonen Handlungsabläufen auch sehr leicht Fehler. Er übernimmt vielmehr als Bediener des Systems den Platz des Entscheidungsträgers und greift ein, sobald das System Abweichungen oder Fehler meldet. Aufgrund seiner Erfahrungen kann der Mensch außergewöhnliche Fehlersituation am besten analysieren und entsprechend handeln. Das zeigt, dass Automation auf jeden Fall sinnvoll ist, um den Menschen zu unterstützen.

Die Vorstellung mancher technisch nicht versierter Menschen und Science Fiction Autoren, die Automatisierung als eine Ansammlung von sich selbst bedienenden Maschinen beschreiben, die Arbeitslosigkeit hervorrufen und womöglich eine technologische Diktatur aufbauen, in der Computer über die Menschen herrschen, entspricht keinesfalls der Wirklichkeit. Ebenso falsch ist aber auch die Ansicht mancher Techniker, dass Maschinen unfehlbare und absolut zuverlässige Diener des Menschen sind.³³⁹

5.3.1 Treibende Kräfte der Automatisierung

Ein gewisser Grad an Automatisierung ist grundsätzlich als sinnvoll anzusehen. Sie unterstützt den Menschen, nimmt ihm monotone Tätigkeiten ab und macht das Fliegen sicherer. Es kann auch nicht verschwiegen werden, dass manche moderne Verkehrsflugzeuge ohne automatische Steuerungssysteme allein durch den Menschen nicht mehr geflogen werden können. Die Steuersysteme sind dermaßen komplex und bedürfen daher vielfältiger Steuer- und Regelkreise um das Flugzeug in der Luft zu halten. Es wäre daher illusorisch zu denken, dass der Mensch in der modernen Fliegerei ohne Technik auskommen könnte. Es gibt im Wesentlichen drei Faktoren für das Vorantreiben der Automatisierung:

- **Wirtschaftlichkeit:** Durch die Computersysteme werden verbrauchsgünstige Steig- und Sinkflugprofile berechnet. Des Weiteren halten die Bordrechner das Flugzeug während des Reisefluges in einer optimalen Fluglage und gleichen jede Lageänderung, ausgelöst durch Luftströmungen, sofort

³³⁹ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 109-110.

aus (schon lange bevor der Pilot überhaupt reagieren kann). Dies führt zu einer für den wirtschaftlichen Flugverkehr notwendigen Kraftstoffeinsparung.

- Sicherheit: Wie erwähnt sind mehr als 70% der Flugunfälle auf Fehler des Menschen zurückzuführen. Technische Systeme wie z.B. Autopilot, Flugweganzeiger (Flight Director) oder Alarmierungs- und Warnsysteme (ECAM) hatten eine positive Auswirkung auf die Flugsicherheit und Arbeitsbelastung der Cockpitbesatzung. Das Bodenannäherungswarnsystem (Ground Proximity Warning System) ist ebenfalls ein Beispiel dafür: Seit seiner Einführung konnte weltweit ein dramatischer Rückgang von Unfällen durch Bodenberührung verzeichnet werden.
- Technologie: Ein fördernder Faktor für die immer weiter fortschreitende Automatisierung ist natürlich auch das rasch steigende technologische Wachstum in der heutigen Zeit. Vor allem der enorme Fortschritt in der Mikroprozessor-Technologie macht die weitere Automatisierung immer leichter, besser und preiswerter. Aber auch die rasche Erhöhung der Leistung und die Verringerung der Ausmaße, Kosten und des Energiebedarfs der verschiedenen elektronischen Komponenten, Sensoren und Anzeigen machen die Automatisierung im Cockpit zu einer vernünftigen Alternative zur althergebrachten manuellen Bedienung.³⁴⁰

5.3.2 Allgemeine Problembereiche

Mit der Automatisierung im Cockpit sind die Piloten aber auch zunehmend mit dem Phänomen der falschen Alarme konfrontiert. Wenn das System aufgrund einer Fehlfunktion im informationsverarbeitenden System einen technischen Defekt des Flugzeuges anzeigt, werden die Piloten gezwungen Maßnahmen zu setzen. Eine manuelle Kontrolle des Defektes ist oft nur schwer möglich, die Piloten müssen dem System vertrauen.

Die heutigen Bordrechner entlasten die Cockpitbesatzung schon so weit, dass bereits eine Abnahme des fliegerischen Könnens zu beobachten ist und die Arbeitsbefriedigung der Piloten sinkt. Es gab zwar keinen spezifischen Flugunfall oder Zwischenfall wo dies als beitragender Unfallfaktor aufgeführt wurde, Diskussionen mit den Verantwortlichen von Pilotenausbildungszentren haben aber gezeigt, dass bei Piloten, die sich vorwiegend automatischer Systeme bedienen, ein erkennbares Nachlassen der fliegerischen Fähigkeiten festzustellen war. Viele Piloten sind von selbst darauf gekommen und schalten daher vor allem bei Start

³⁴⁰ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 111-113.

sowie Landung den Autopiloten aus, um die manuelle Bedienung des Flugzeuges permanent zu trainieren.³⁴¹

Bei der Automatisierung von Steuerungsaufgaben rückt der Mensch von der Rolle des Bedieners, in die Rolle des Überwachers und Aufsehers. Fraglich ist jedoch, ob der Mensch die Fähigkeit hat diese Funktionen auszuführen. Es muss auch untersucht werden, unter welchen Umständen der Mensch ein besserer oder schlechterer Fehlerdetektor ist. Die Praxis zeigt leider oft, dass die Aufmerksamkeit des Piloten in seiner meist untätigen Rolle als Überwacher weit absinkt. Er kann auch in einen Zustand geraten, wo er leicht durch unwichtige Ereignisse von der Überwachungsaufgabe abgelenkt wird.

Wenn die technische Ausrüstung unzuverlässig ist und oft Fehler auftreten, wird der Bediener Fehlfunktionen erwarten und zum Meister im Umgang mit ihnen werden. Wenn die Ausrüstung sehr zuverlässig ist, gibt es wenig Anlass zur Fehlererkennung und -beurteilung. Da praktisch kaum Fehler auftreten, wird der Pilot nicht sehr aufmerksam sein und wenn doch irgendwann ein Problem auftritt, ist er vielleicht nicht in der Lage es zu meistern. Wirklich gefährlich ist daher die Zwischenstufe zwischen fehlerhaftem System, dem der Benutzer kritisch gegenüber steht, und dem perfekten System, dem der Benutzer blind vertraut. Wie zahlreiche Beispiele beweisen, verlassen sich die Piloten oft zu sehr auf die Systeme und finden es nicht notwendig, angezeigte Fehlfunktionen kritisch zu hinterfragen. Es ist daher besonders wichtig, dass die Flugzeugführer von Zeit zu Zeit dieses Verhalten in Simulatoren trainieren.³⁴²

Ebenfalls von Interesse sind die psychosozialen Aspekte der Automatisierung, die häufig zu wenig beachtet werden. Sie sind jedoch die Wichtigsten, da sie die Grundeinstellung des Menschen zu seiner Aufgabe beeinflussen sowie seine Motivation, Anpassungsfähigkeit, Ansprechbarkeit, Reizempfindlichkeit und Reaktion. Es muss beim Design von automatischen Anlagen vermehrt darauf geachtet werden, dass auch die Zufriedenheit der Cockpitbesatzung mit ihrer Tätigkeit gefördert oder zumindest erhalten wird. Wenn der Pilot sich selbst nicht mehr als den „Herrscher“ über die Maschine sieht, lediglich im Cockpit sitzt und eigentlich keine Arbeit hat, weil der Autopilot seine Aufgaben übernommen hat, so wird er mit seiner Rolle nicht sehr zufrieden sein. Das wirkt sich auch negativ auf das System Mensch-Maschine aus: Sollten außergewöhnliche Umstände auftreten, gibt es meist Anlaufprobleme, wenn sich der Pilot von seiner ziemlich passiven Beobachterrolle innerhalb kürzester Zeit auf eine aktive Rolle als Steuermann

³⁴¹ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 114-119.

³⁴² Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 119-121.

einstellen soll. Die Entwicklungsingenieure müssen für den Piloten wieder eine aktivere Rolle finden und ihn nicht nur zur bloßen Überwachung einsetzen.³⁴³

5.3.3 Zielsetzungen für den Einsatz automatischer Systeme

Die Ziele für den Einsatz der Automatik im Flugzeug sind folgende:

- Sie hat für einen Flug und einen Betrieb am Boden mit unendlich geringer Unfallwahrscheinlichkeit zu sorgen.
- Sie soll den Passagieren zu einem äußerst komfortablen und somit angenehmen Flug verhelfen. Nach Möglichkeit sollten Schlechtwetterzonen umfliegen, turbulenzfreie Höhen gewählt und langsame Fluglage- sowie Höhenänderungen durchgeführt werden.
- Das System soll den Flug so wirtschaftlich wie möglich durchführen, was aber durchaus im Widerspruch zum vorhergehenden Punkt steht. Die Flugzeit und die Verzögerungen am Boden müssen möglichst kurz gehalten, der Kraftstoffverbrauch und die Abnutzung der Geräte minimiert werden.
- Die negative Beeinflussung anderer Flugzeuge durch eigene Operationen ist auf ein Mindestmaß zu beschränken. Durch Zusammenarbeit mit der Flugbereichskontrolle ist eine bessere Steuerung des Luftverkehrs möglich. Abflughöhen sollen daher nach Genehmigung möglichst rasch für nachfolgende Flugzeuge geräumt werden, da dies der Flugverkehrskontrolle helfen würde, die Flughöhen schnell wieder für den übrigen Verkehr freizumachen.
- Schließlich obliegt es dem Cockpitsystem für eine angenehme, sichere und gesunde Arbeitsplatzatmosphäre zu sorgen.³⁴⁴

Natürlich gelten diese Ziele nicht nur für automatische Systeme, sondern auch für manuelle. Es zeigt sich aber, dass die Anforderungen zumindest nach einer gewissen automatischen Unterstützung des Piloten verlangen.

5.3.4 Anthropotechnik

Ein wesentliches Anliegen der Anthropotechnik ist die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Eine allgemein anerkannte Definition des Begriffes lautet:

³⁴³ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 124.

³⁴⁴ Vgl. Wiener, Earl L.; Renwick E. Curry in: Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991), S. 124-126.

„Anthropotechnik verfolgt das Ziel, Maschinen und technische Einrichtungen so auf die Eigenschaften, Möglichkeiten und Bedürfnisse des Menschen abzustimmen, daß [sic!] beide hinsichtlich Leistung, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit mit bestmöglichem Gesamtergebnis zusammenwirken. [...] Zu diesem Zweck befaßt [sic!] sich die Anthropotechnik mit den physischen und physiologischen Eigenschaften sowie den Denkprozessen des Menschen, denen sie mit naturwissenschaftlichen Methoden nachspürt. Es handelt sich demnach um ein interdisziplinäres Gebiet, das Erkenntnisse aus Physiologie, Psychologie (speziell Experimentalpsychologie), Arbeitsmedizin, Anthropometrie, Physik und Systemtechnik anwendet und in neue, dem obengenannten Ziel entsprechende Zusammenhänge bringt.“³⁴⁵

Hauptforschungsschwerpunkte der Anthropotechnik bei der Cockpitgestaltung von modernen Verkehrsflugzeugen sind vor allem die Anzeigegeräte und Bedieneinrichtungen die hinsichtlich ihrer

- Funktion,
- Gestaltung,
- Nutzung und
- Anordnung

auf das Genaueste untersucht werden.

Mit der steigenden Erfahrung der Luftverkehrsgesellschaften in Bereichen wie Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Pünktlichkeit und Passagierkomfort, haben die technischen Hilfsmittel, die der Cockpitbesatzung zur Verfügung stehen, eine Wandlung vollzogen. Dieser immer größer werdende Anteil der Technik darf jedoch nicht zu Lasten des Menschen gehen. Durch die zunehmende Automation soll der Pilot von Routinearbeiten befreit werden, um Zeit zu finden für Wichtiges: vorausschauendes Planen und situationsabhängige Entscheidungen. Für das Design der Mensch-Maschine Schnittstelle im Cockpit wurden von der Deutschen Lufthansa AG folgende Richtlinien aufgestellt:

- Die Technik muss dem Menschen angepasst werden (nicht umgekehrt) und gegenüber Fehlbedienungen tolerant sein. Bedienungsfehler dürfen nicht gleich gravierende nachteilige Folgen haben.
- Redundanz der Flugzeugbesatzung: Das Flugzeug muss auch bei Ausfall eines Piloten durch den oder die verbleibenden Flugzeugführer voll beherrschbar sein. Alle für die sichere Durchführung des Fluges notwendige

³⁴⁵ Charwat, Hans Jürgen (1994), S. 19.

gen Bedienelemente und Anzeigen müssen daher für mindestens zwei Besatzungsmitglieder erreichbar bzw. einsehbar sein.

- Redundanz der Systemelemente: Alle für die sichere Durchführung eines Fluges notwendigen Instrumente, die nicht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausfallsicher sind, müssen redundant ausgelegt sein.
- Kein unmittelbares Eingreifen durch die Cockpitbesatzung bei Auftreten des ersten Fehlers: Korrigierendes Handeln muss in bestimmten Zeitgrenzen verschiebbar oder sogar gänzlich überflüssig sein.
- Transparenz der technischen Systeme: Dem Flugzeugführer muss es zu jeder Zeit möglich sein, sich ein umfassendes Bild über den technischen Zustand des Flugzeuges zu verschaffen. Und zu guter Letzt:
- Das Flugzeug muss trotz Automatik nachwievor konventionell geflogen werden können. Die Fähigkeiten dazu müssen sich beide Besatzungsmitglieder erhalten.³⁴⁶

5.4 Grundsätzliches zum Thema Mensch-Maschine

Wie bereits angedeutet ist der Computer dem Menschen an Schnelligkeit und Genauigkeit weit überlegen. Durch die Entwicklung immer besserer Prozessoren und Computerarchitekturen ist ein moderner Rechner in der Lage, eine gewaltige Menge an Informationen innerhalb kürzester Zeit zu verarbeiten. Beispielsweise würde ein Mensch zum alphabetischen Sortieren von einer Million Namen mehrere Stunden – wenn nicht sogar Tage – benötigen, während ein Computer in wenigen Sekunden das gewünschte Resultat liefern kann. Außerdem wäre es sehr wahrscheinlich, dass sich der Mensch ein oder mehrere Male geirrt hat. Der Computer kann hingegen (bei fehlerloser Programmierung) für die Richtigkeit des Ergebnisses garantieren. Dies kann mit dem deterministischen Verhalten, das der Computer aufweist, erklärt werden. Das heißt, dass bei gleichen Eingabewerten stets mit demselben Ergebnis gerechnet werden kann. Die Entscheidungen des Menschen hängen jedoch von einer unüberschaubaren Anzahl von Einflussfaktoren ab. Beispiele dafür sind sein momentaner Gemütszustand bzw. seine aktuelle Konzentration.

In diesem Zusammenhang kann ein weiteres Unterscheidungskriterium zwischen Mensch und Maschine erkannt werden: Der Computer ist gegenüber Gefühlen völlig unempfindlich. Dies hat auf der einen Seite den Vorteil, dass der Rechner auch in kritischen Situationen nicht in Panik gerät und es zu keinen überstürzten Handlungen kommt. Auf der anderen Seite wird diese „Gefühlskälte“ jedoch von zahlreichen Anwendern nicht nur positiv gesehen. Es ist unmöglich, von einer

³⁴⁶ Vgl. Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft März 3/1984. S. 40.

Maschine Gefühle wie Freundschaft oder Zuneigung zu erhalten, wie dies bei einem menschlichen Mitarbeiter der Fall wäre.

Oftmals wird auch die Frage gestellt, ob der Computer überhaupt in der Lage ist, den Sinn seiner Aktionen zu verstehen. Als Beispiel soll hier ein Schachcomputer dienen, der gegen einen menschlichen Herausforderer anzutreten hat. Versteht der Rechner tatsächlich die Bedeutung seiner Züge? Auch wenn er fast alle Spiele gegen den Menschen gewinnt, folgt er dabei stets nur fest einprogrammierten Regeln. Wie dieses Beispiel vorführt, ist es notwendig, zuerst den Begriff des Verstehens näher zu definieren.

Ein bekannter Ansatz zu diesem Thema – das sogenannte Chinesische Zimmer – stammt von dem amerikanischen Philosophen John R. Searle. In diesem Gedankenexperiment befindet sich eine Versuchsperson in einem geschlossenen Raum und erhält einen Text aus fremdartigen Symbolen (in diesem Fall chinesische Zeichen), einige Fragen zu diesem Text in derselben unverständlichen Sprache sowie eine Liste von Regeln. Mit Hilfe dieser Regeln soll die Person nun die Fragen über den Text beantworten und die Ergebnisse abliefern. Obwohl dieser Mensch keine Ahnung hat, worum es in dem Text eigentlich geht und genauso wenig den Sinn der Fragen versteht, ist er in der Lage, mit Hilfe des Regelwerkes die richtigen Resultate zu produzieren.³⁴⁷ Hier können ganz klar parallelen zu einem Computer erkannt werden: Nehmen wir einen PC, der die Anweisung „DIR“ erhält. Dieser Befehl stellt eine Frage des Benutzers dar, der wissen möchte, was sich z.B. auf einem Festplattenlaufwerk oder USB-Stick befindet. Der Computer verwendet nun ein geeignetes Programm, z.B. den Windows Explorer, mit dessen Hilfe er in der Lage ist, die entsprechenden Informationen von dem Laufwerk zu lesen. Es steht jedoch außer Zweifel, dass der Computer nicht die geringste Ahnung vom Sinn seiner Handlung oder vom Befehl selbst hat.

Dieses Beispiel zeigt, dass bei einer Maschine nicht von Sinnverständnis gesprochen werden kann. Im Gegensatz zum Menschen kann der Computer auch die Konsequenzen seiner Aktionen nicht erkennen. Ein Pilot würde beispielsweise den Befehl sein Flugzeug abstürzen zu lassen mit Sicherheit ignorieren. Der Computer würde hingegen eine solche Anweisung im Programm wie jede andere ausführen, ohne die Folgen für sich, das Fluggerät und die Passagiere abschätzen zu können.

Ein weiterer interessanter Aspekt jedes Lebewesens ist die Fähigkeit, Erfahrungen zu sammeln und daraus zu lernen. Mit dieser Eigenschaft wird erreicht, dass gewisse Fehler nicht mehrmals gemacht und Handlungen effizienter durchgeführt

³⁴⁷ Vgl. Karagiannis, Dimitris; Rainer Telesko (2001), S. 18-19.

werden. Im Gegensatz dazu wird ein Computer denselben schlechten Algorithmus immer wieder ausführen, solange der Benutzer nicht korrigierend eingreift. Der Rechner würde niemals auf die Idee kommen, selbstständig Verbesserungen seiner Handlungsweise durchzuführen. Ebenso würde er immer an der gleichen Stelle eines fehlerhaften Programmes abstürzen. Aus diesen Tatsachen geht klar hervor, dass dem Computer jede Lernfähigkeit fehlt und er deshalb im menschlichen Sinne als „dumm“ zu bezeichnen ist.³⁴⁸ Erst in jüngerer Zeit wird versucht, menschliches Lernverhalten und Intelligenz auf einem Computer zu simulieren. Begriffe dafür sind Expertensysteme sowie Artificial Intelligence.

Die unbedingte Notwendigkeit einer exakten Befehlsformulierung kann als weiterer Grund für die scheinbare Dummheit des Computers angesehen werden. Normalerweise hat schon die Vertauschung von einem Punkt mit einem Beistrich zur Folge, dass der Computer einen Befehl nicht verstehen kann. Viele unerfahrene Anwender haben auch Probleme, die Verhaltensunterschiede zwischen Mensch und Maschine zu verstehen. Sie wundern sich darüber, dass der Computer nicht über alle vorhergehenden Befehle Bescheid weiß und sie deshalb manche Dinge wiederholt eingeben müssen. Ebenso ist es für sie unverständlich, dass die erforderliche Syntax unbedingt eingehalten werden muss, da z.B. ein Mensch auch in der Lage ist, einen grammatikalisch falschen Satz richtig zu interpretieren.

Aus diesen Beispielen kann die Notwendigkeit einer an den Menschen angepassten Benutzerschnittstelle erkannt werden. Es soll nicht der Mensch gezwungen werden, sich auf den Computer einzustellen und komplizierte Befehle auswendig zu lernen, wie dies in der Anfangszeit der Programmierung der Fall war. Solange die Ingenieure der Flugzeughersteller nicht in der Lage sind den Menschen im Cockpit vollständig zu ersetzen, muss die Philosophie eine andere sein: Ansprüche, Fähigkeiten und Begrenzungen des Menschen müssen die Standards setzen, nicht der technologische Fortschritt und Ehrgeiz der Forscher und Konstrukteure.³⁴⁹

5.5 Was bringt die Zukunft – 3, 2, 1?

Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO (International Civil Aviation Organization), eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen die verbindliche Standards, Empfehlungen sowie Richtlinien für die Luftfahrt erarbeitet und festlegt, überlässt es den Zertifizierungsbehörden die Zusammensetzung der Cockpitbesatzung festzulegen. Im Annex 6 der Convention on International Civil Avia-

³⁴⁸ Vgl. Schubert, Christian-Heinz (2005), S. 108.

³⁴⁹ Vgl. van Beveren, Tim (1996), S. 161.

tion ist in Kapitel 9.1 (Composition of the flight crew) unter anderem folgendes festgehalten:

*„9.1.1 The number and composition of the flight crew shall not be less than that specified in the operations manual. The flight crews shall include flight crew members in addition to the minimum numbers specified in the flight manual or other documents associated with the certificate of airworthiness, when necessitated by considerations related to the type of aeroplane used, the type of operation involved and the duration of flight between points where flight crews are changed.“*³⁵⁰

Gemäß dieser Richtlinie wurde 1988 der Airbus A320 von der französischen Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) zertifiziert und im entsprechendem Flight Manual des Herstellers eine Minimal Flight Crew von zwei Piloten für diesen Flugzeugtyp festgeschrieben.³⁵¹

Heutzutage ist das Zweipersonen-Cockpit in modernen Verkehrsflugzeugen sowohl durch behördliche Vorschriften, als auch durch gesetzliche Regelungen abgesichert. In Europa findet sich z.B. ein entsprechender Passus in Abschnitt N (OPS 1 940 – Flugbesatzung) der Verordnung Nr. 8/2008 der Europäischen Kommission vom 11. Dezember 2007:

„Für Flüge nach Instrumentenflugregeln oder bei Nacht hat der Luftfahrtunternehmer sicherzustellen, dass:

*1. bei allen Propellerturbinenflugzeugen, deren höchste genehmigte Anzahl der Fluggastsitze mehr als 9 beträgt, sowie allen Strahlflugzeugen die Flugbesatzung aus mindestens 2 Piloten besteht [...].“*³⁵²

Auch in den neuesten Entwicklungen der beiden großen Hersteller, dem Boeing 787 Dreamliner und Airbus A350, werden immer noch mindestens zwei Piloten sitzen, die die Passagiere sicher an ihr Ziel befördern. Die Frage die sich jedoch stellt: Wie lange noch?

Seit Beginn der Fliegerei vor knapp über 100 Jahren hat die Luftfahrt technologische Sprünge von atemberaubender Geschwindigkeit erlebt. Und das Entwicklungstempo hat sich in den letzten Jahren keineswegs verlangsamt, sondern mit dem Einzug moderner Computertechnik erst so richtig Fahrt aufgenommen. Ein

³⁵⁰ International Civil Aviation Organization (Hrsg.) (2001), S. 9-1.

³⁵¹ Vgl. Airbus Industrie Flight Division (Hrsg.) (2010), S. LIM/GEN P1/2.

³⁵² Europäische Union (Hrsg.) (2008), S. L 10/137.

bedeutender Schritt zur Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie zur Senkung der Betriebskosten war das Ersetzen menschlicher Handgriffe durch automatisierte Vorgänge. Heutige Piloten müssen sich daher immer öfters die Frage stellen, wie ihr Beruf in einigen Jahrzehnten aussehen wird.

Dass die unbemannte Luftfahrt bereits Realität ist, zeigen folgende Beispiele:

- Bereits 1984 wurde eine Boeing 720 (eine kleinere Version der Boeing 707) von der NASA zu Forschungszwecken umgerüstet und mit Unterstützung einer Fernbedienung gestartet, um danach kontrolliert zum Absturz gebracht zu werden.³⁵³
- 1995 führte die amerikanische Luftwaffe das UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Predator zur Kampfüberwachung bzw. Zielbekämpfung ein.
- Am 28. Februar 1998 war der Erstflug der Northrop Grumman RQ-4A Global Hawk, einem unbemannten Höhen- und Langstreckenaufklärer (vgl. Abbildung 50).
- Am 21. August 1998 überquerte das pilotenlose Flugzeug „Laima“ als erstes UAV nonstop den Atlantik. Start und Landung erfolgten manuell via Fernsteuerung, den eigentlichen Überflug über eine Strecke von 3.270 Kilometern führte der Flugkörper selbstständig durch.
- 2003 erhielt die Global Hawk als erstes UAV eine Zertifizierung der amerikanischen Federal Aviation Administration (FAA) und damit eine Zulassung zum Betrieb eines unbemannten Luftfahrzeuges in einem zivil kontrollierten Luftraum.
- Längst arbeiten die großen Rüstungsfirmen an Entwicklungsaufträgen für ferngesteuerte Kampfflugzeuge und so wurde am 10. Mai 2010 von Boeing in St. Louis die Phantom Ray vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein unbemanntes Versuchsflugzeug mit Stealth Eigenschaften dessen Erstflug im Dezember 2010 stattfinden soll.³⁵⁴

Ebenso selbstverständlich ist das Abwickeln unbemannter Raumflugmissionen. Eine Herrschaft von Spezialisten beobachtet heutzutage in wohltemperierten Räumen am Boden das automatische Andockmanöver eines russischen Progress Transportraumschiffes an die Internationale Raumstation (ISS) und das bei einer Geschwindigkeit der beiden Flugkörper von ca. 28.000 km/h in einer durchschnittlichen Orbitalhöhe von 350 Kilometern. Dasselbe gilt für die Marssonde Opportunity die am 25. Jänner 2004 auf dem roten Planeten gelandet ist und seitdem unermüdlich die Oberfläche erforscht.

³⁵³ Vgl. Penner, Hellmut (1985): Kein-Mann-Cockpit: Ersetzen Flugregler die Piloten? In: Flug Revue. Nr. 11, November 1985. S. 75.

³⁵⁴ Vgl. Pietsch, Paul (Hrsg.) (2010): Boeing baut unbemannten Versuchsträger – Phantom Ray vorgestellt. In: Flug Revue. Nr. 7/2010, Juli 2010. S. 16.

Die Piloten von heute müssen sich daher immer öfter die Frage stellen, wann die totale Automatisierung in modernen Verkehrsflugzeugen Einzug hält und ob es in Zukunft überhaupt noch Piloten aus Fleisch und Blut geben wird.



Abbildung 50: Northrop Grumman RQ-4A Global Hawk. (Quelle: Bobbi Zapka, U.S. Air Force)

Folgende Gründe sprechen aus Sicht der Luftfahrtunternehmen und Flugzeughersteller für eine Reduktion der Cockpitbesatzung:

- Piloten kosten Geld. Zusätzlich zu den Gehältern für 4 bis 5 Besatzungen pro Flugzeug, müssen noch Kosten für Training, Type Rating, Simulator- und Checkflüge, Crewplanung, Hotels, Diäten etc. berücksichtigt werden.
- Piloten müssen gesetzlich vorgeschrieben Ruhezeiten einhalten, werden krank oder gehen auf Urlaub. Pilotenlose Flugzeuge können dagegen optimal gesteuert und ohne Rücksicht auf eine Dienstplanung eingesetzt werden.
- Statistisch gesehen sind mehr als 70% aller Unfallursachen auf menschliche Faktoren zurückzuführen. Der Mensch ist somit bei weitem störanfälliger als die eingesetzte Technik.

- Studien haben gezeigt, dass durch den Wegfall des Cockpits zwei Drittel der Herstellungskosten eines Flugzeuges und 80% der Wartungskosten eingespart werden können.³⁵⁵

Gegen einen Verzicht auf Piloten im Cockpit sprechen aber vor allem noch emotionale Gründe. Für viele Passagiere ist es zwar selbstverständlich in Großstädten wie Singapur oder Kuala Lumpur in vollautomatische fahrerlose U-Bahn Züge einzusteigen. Die Angst vor dem Fliegen sitzt bei den Menschen aber nach wie vor zu tief, um die Verantwortung für das eigene Leben – trotz Computerzeitalter – der Technik blind anzuvertrauen. Bevor es pilotenlose Flugzeuge geben wird, muss folglich der Passagier bereit sein, sich in ein ferngesteuertes Luftfahrzeug zu setzen.³⁵⁶

In keinem anderen Verkehrsmittel hat sich der Arbeitsplatz des „Chauffeurs“ derart rasant und grundlegend geändert, wie in einem modernen Verkehrsflugzeug. Nach dem Wegfall des Funkers und Navigators in den 1950er bzw. 1960er Jahren war es in den 1980er Jahren der Beruf des Flugingenieurs, der durch die weitere Automatisierung der Arbeitsschritte mit Hilfe der Computertechnik, dem Rotstift zum Opfer fiel. Von den Betroffenen und den Pilotengewerkschaften hagelte es Proteste, die vor einer Arbeitsüberlastung der Piloten und einer dramatischen Abnahme der Flugsicherheit warnten. In nur wenigen Jahren ist jedoch die Wandlung zu einem Zweipersonen-Cockpit in einer Art und Weise gelungen, sodass heutige Pilotengenerationen gar nicht mehr wissen, was sie mit einer dritten oder gar vierten Person im Cockpit anfangen sollten.³⁵⁷

Ziel einer vernünftigen technologischen Entwicklung muss es sein, alle verfügbaren Ressourcen optimal zu nutzen. Sie muss den Computer mit seiner unübertroffenen Beobachtungsfähigkeit, Präzision und Geschwindigkeit ebenso einbeziehen, wie den Menschen in seiner vorerst unnachahmlichen kreativen Kombinations- und Entscheidungsfähigkeit. Die Technik muss den Piloten unterstützen und für ihn arbeiten und nicht umgekehrt. Das Potenzial des Menschen muss dort genutzt werden, wo es der Technik überlegen ist. Es wird eine der großen Herausforderungen der Flugzeughersteller sein, hier die optimale Balance zwischen Fehlerkontrolle und Beherrschbarkeit der Technik zu finden und aus beidem das Optimum herauszuholen.³⁵⁸

Wer aber nun glaubt, dass der Weg zum Einpersonen-Cockpit bereits vorgezeichnet ist, der täuscht sich gewaltig. Ganz im Gegenteil: Mit Einführung der

³⁵⁵ Vgl. Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 225-226.

³⁵⁶ Vgl. Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 226.

³⁵⁷ Vgl. Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 228.

³⁵⁸ Vgl. Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 236.

sogenannten Extrem-Langstreckenflüge wurde die Cockpitbesatzung sogar wieder erweitert. Die Enhanced Crew soll sicherstellen, dass sich während des Fluges immer ein Pilot ausruhen kann, während die anderen zwei Flugzeugführer den Flug überwachen.

Airbus sah keine Notwendigkeit für die erweiterte Besatzung und wollte beweisen, dass während des Reisefluges nur ein Pilot zur Überwachung der Instrumente notwendig ist. Der Flugzeughersteller beantragte daher bei den Behörden für den neuen Langstrecken Airbus A350 die sogenannte Single Pilot Cruise License, was jedoch umgehend von der Behörde abgelehnt wurde. Die Entscheidung der DGAC viel vor allem im Lichte des Airbus A330 Absturzes der Air France am 1. Juni 2009 über dem Atlantik. Angeblich wurde das Flugzeug zum Zeitpunkt des Unglücks von zwei Kopiloten gesteuert, da der Kapitän kurz nach dem Start das Cockpit verließ, um seine planmäßige Ruhepause einzuhalten. Der neu aufgeflamte Konflikt mit den Pilotengewerkschaften, die wiederholt einen zweiten Kapitän auf diesen besonders langen Flügen fordern, trug sicher zur ablehnenden Haltung der Behörde bei. Anzumerken ist, dass der genaue Aufenthaltsort der Piloten während des Absturzes – in der nachwievor laufenden Untersuchung – bis dato nicht geklärt werden konnte.^{359, 360}

Wie auch immer die Diskussion zwischen den Ingenieuren der Flugzeughersteller und den Pilotengewerkschaften ausgehen mag, die Notwasserung eines Airbus A320 der US Airways (Flug 1549, Registrierung N106US) am 15. Jänner 2009 durch Kapitän Chesley B. Sullenberger, der nach dem Ausfall beider Triebwerke durch Vogelschlag das Flugzeug sicher im Hudson River bei Manhattan landete und damit allen 155 Insassen das Leben rettete, hätte wohl kein Computer geschafft.

³⁵⁹ Vgl. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (2009a).

³⁶⁰ Vgl. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (2009b).

6 Zusammenfassung

In den vergangenen zwanzig Jahren hat das Cockpit von Verkehrsflugzeugen umfassendere Änderungen erfahren, als in den achtzig Jahren davor. Während die zwei großen Hersteller Airbus Industrie und Boeing an neuen Verkehrsflugzeugen arbeiten, lässt die Entwicklung neuer Technologien weitere aufsehenerregende Änderungen, wie z.B. Fly-by-light, 3-Dimensionale Flugführung, Touchscreens oder Spracheingabe, erwarten. Es stellt sich daher die Frage, ob diese neue Generation einen weiteren Entwicklungssprung darstellen oder eher eine Konsolidierung dessen verkörpern wird, was mit dem Airbus A380 oder der neuen Boeing 787 Dreamliner bereits erreicht wurde.

Der Fortschritt in der Digitaltechnik und im Bereich der integrierten Schaltungen führte dazu, dass die Flugzeugführer nicht mehr direkt, sondern über den Umweg elektronischer Rechner auf die verschiedenen Systeme ihres Flugzeuges, wie z.B. Steuerflächen, Triebwerk oder Fahrwerk, Einfluss nehmen können. In dem Maß, in dem sich der Pilot vom Handlungs- zum Entscheidungsträger gewandelt hat – eine Entwicklung, die übrigens keineswegs unumstritten war – hat sich auch zwangsläufig die Konzeption der Bedien- und Anzeigeelemente im Cockpit verändert. Diese Displays werden heute nicht ohne Grund als Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine, zwischen Pilot und Flugzeug, bezeichnet.

Wie Simulatorexperimente zeigen, lässt sich die Entwicklung vom klassischen Analogcockpit zum fliegenden Büro noch um einiges weiter treiben. Dennoch sieht es so aus, als repräsentiere der Airbus A320 mehr oder weniger das Urbild künftiger Flugzeugcockpits. Zwar wird die technische Entwicklung noch größere Bildschirme, den Verzicht auf die letzten elektromechanischen Instrumente sowie eine Vereinfachung der Triebwerksbedienung und der Eingabe bestimmter Parameter, zum Beispiel durch gesprochene Kommandos, mit sich bringen, doch scheint sich das digitale Cockpit auf mittlere Sicht durchgesetzt zu haben.³⁶¹

Die Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge haben in den letzten Jahren einen derartigen Wandel vollzogen, dass mit Recht die Frage gestellt werden muss, ob die Flugzeughersteller und Anwender (Piloten) auch wirklich in der Lage sind, mit all diese Innovationen Schritt zu halten.

³⁶¹ Vgl. Condom, Pierre (1987): Das Cockpit kommender Verkehrsflugzeuge. In: Interavia. Heft 10/1987, Oktober 1987. S. 1089.

6.1 Die Technik des Airbus A320

Der Airbus A320 setzte bei seiner Einführung 1987 vielerlei Maßstäbe. Es ist das erste Verkehrsflugzeug mit einer digitalen Flugsteuerung (Fly-by-wire) und seitlichen Steuergriffen (Sidesticks), einem Flugmanagementsystem mit integriertem automatischem Flugführungssystem, einem zentralen Zustands- und Überwachungssystem, einer digitalen Triebwerksregelung sowie einem Cockpit, das fast ausschließlich mit elektronischen Anzeigegeräten ausgestattet ist.

Direkt vor den beiden Piloten befinden sich je zwei Bildschirme, von denen einer die üblichen Flugführungsinformationen wie Lage (künstlicher Horizont), Geschwindigkeit, Richtung, Flughöhe sowie Steig- und Sinkgeschwindigkeit anzeigt. Auf diesem sogenannten Primary Flight Display (PFD) werden zusätzlich diverse Statusanzeigen der Autopiloten und während der Landung Informationen des Instrumentenlandesystems dargestellt. Der andere Bildschirm ist der Navigation gewidmet. Auf ihm werden An- und Abflugverfahren sowie Flugweg inkl. Wegpunkte und Flughäfen schematisch abgebildet. Außerdem können auf diesem Display noch das Bild des Wetterradars und eine Geländedarstellung in überlagerter Form eingeblendet werden.

Zwei im mittleren Teil des Hauptinstrumentenbretts übereinander angeordnete Bildschirme stellen zum einen sämtliche Triebwerksparameter dar, wodurch allein zehn herkömmliche Überwachungsinstrumente eingespart werden konnten, zum anderen den aktuellen Zustand der Bordsysteme. Im Falle einer Störung werden auf dem oberen Display (Engine/Warning Display) Checklisten dargestellt, während der untere Bildschirm (System Display) den Betriebszustand des betreffenden Systems anzeigt.³⁶²

Beim Design der Rechner wurden zwei Grundprinzipien verfolgt. Das erste Prinzip war, die beste Hard- und Software zu verwenden, die zur damaligen Zeit verfügbar war. Das Zweite war die Annahme, dass auch bei diesen Geräten noch immer Fehler auftreten können. Es musste daher ein System gebaut werden, welches Inkonsistenzen während des Fluges tolerieren kann. Fehlertoleranz ist ein Mechanismus, der im Airbus A320 ausgiebig verwendet wurde. Dies kann schon allein daran abgeleitet werden, dass fünf Steuerungscomputer unabhängig voneinander arbeiten, wobei jeder einzelne Rechner in der Lage ist, das gesamte Flugzeug zu steuern.

³⁶² Vgl. Condom, Pierre (1985): Bordsysteme für die Airbus A320: Spielraum für Innovationen. In: *Interavia*. Heft 4/1985, April 1985. S. 353-355.

Jeder Steuerungscomputer besteht in Wirklichkeit aus zwei Einheiten, wobei jede dieser Einheiten mit einer anderen Zeitbasis arbeitet. Es werden laufend die Ein- und Ausgaben der beiden Komponenten miteinander verglichen, um das Auftreten von Inkonsistenzen und Fehlern möglichst früh zu erkennen. Die Computer werden von zwei Herstellern (Thomson-CSF und SFENA) gebaut, wobei Prozessoren von zwei unterschiedlichen Lieferanten (Intel und Motorola) zum Einsatz kommen. Zusätzlich wurden aus Sicherheitsgründen die Rechner von zwei unabhängigen Teams in vier verschiedenen Programmiersprachen programmiert. Durch die Verwendung von Redundanz, unabhängiger Komponenten, Mechanismen der Fehlertoleranz und diversitärer Software ergibt sich eine deutliche Zunahme der Zuverlässigkeit in diesem sicherheitsrelevanten System.³⁶³

Dass sich die komplette Neukonzeptionierung sowie das über Bord werfen alter Traditionen für Airbus Industrie auch finanziell gelohnt hat, zeigt sich an den Verkaufszahlen. Der 1984 berechnete Break-even-point von 600 gebauten Flugzeugen³⁶⁴ konnte 1996, das 1985 erklärte Ziel von 800 verkauften Einheiten³⁶⁵ bereits 1998 überschritten werden. Die Airbus A320-Familie zählt heute zu den Verkaufsschlagern in der zivilen Verkehrsluftfahrt und hält aktuell bei 6.713 Bestellungen bzw. 4.425 Auslieferungen.

6.2 Erhöhen Computer die Flugsicherheit?

Bei allen Verkehrsflugzeugen darf die Wahrscheinlichkeit, dass alle Bordcomputer ausfallen, nicht höher als einmal pro einer Milliarde Flugstunden sein (dieser Wert entspricht ca. dem 10^5 -fachen eines Flugzeuglebens). Da seit Beginn unserer Zeitrechnung nicht einmal annähernd 18 Millionen Stunden vergangen sind, ist es wohl einleuchtend, dass ein derart komplexes System unmöglich vollständig getestet werden kann. Der Hersteller kann diesen Zuverlässigkeitsgrad nur erreichen, indem er redundante Systeme einbaut. Bei drei bis fünf Rechnern, wobei jeder eine Zuverlässigkeit von mehreren tausend Stunden aufweisen muss, multipliziert sich so die statistische Fehlerwahrscheinlichkeit zu diesem behördlich vorgeschriebenen Wert.³⁶⁶

³⁶³ Vgl. Puyplat, Didier (1991): A320: First of the computer-age aircraft. In: Aerospace America. Volume 29, No. 5, May 1991. S. 29.

³⁶⁴ Vgl. Penner, Hellmut (1984): Familienzuwachs: Airbus A320-Programmstart. In: Flug Revue. Nr. 5, Mai 1984. S. 67-68.

³⁶⁵ Vgl. Müller, Klaus (1985): Nesthäkchen in rauhem Wind: Der Airbus A320 mausert sich. In: Flug Revue. Nr. 10, Oktober 1985. S. 10.

³⁶⁶ Vgl. Stix, Gary (1991): Computer-Piloten. In: Spektrum der Wissenschaft. Heft September 9/1991. S. 78.

Eine Analyse der Flugunfälle bei Verkehrsflugzeugen zeigt, dass etwa 70% aller Ursachen auf menschliche Faktoren und 15% auf technische Fehler zurückgeführt werden können. Die restlichen 15% sind unter der Rubrik „Sonstiges“ eingegliedert, die unter anderem das Wettergeschehen oder den Zustand der Flughafeninfrastruktur beinhalten. Das Gegenargument der Cockpitbesatzungen, dass es keine Statistiken gibt, wie viele Vorfälle oder Beinaheunfälle durch das rasche Eingreifen der Piloten, in jenen Fällen in denen die Computer durch falsche Programmierung versagt hätten, verhindert werden konnten ist durchaus legitim aber wissenschaftlich nicht neutral darstellbar.

Tatsache ist jedoch, dass trotz permanenter Zunahme des Luftverkehrs die Anzahl der Flugunfälle stetig zurückgeht. Ebenfalls bemerkenswert ist, dass fünf klassische Fly-by-wire Flugzeuge mit Computersteuerung (vier von Airbus Industrie, eines von Boeing), zum Teil schon seit über 18 Jahren – zwar nicht unfallfrei, aber zumindest ohne Verlust eines Menschenlebens im regulären Flugdienst eingesetzt werden:

- Airbus A318 (Erstflug am 15.01.2002)
- Airbus A319 (Erstflug am 25.08.1995)
- Airbus A340 (Erstflug am 25.10.1991)
- Airbus A380 (Erstflug am 27.04.2005)
- Boeing 777 (Erstflug am 12.09.1994)

Auch der Airbus A320, das „Computerflugzeug“ schlechthin mit dem ersten gläsernen Cockpit, zählt trotz seiner Unfälle nachwievor zu den sichersten Verkehrsflugzeugen der Welt. Die anfänglichen Zwischenfälle verdeutlichen jedoch den enormen Technologiesprung, der mit dessen Einführung stattgefunden hat: Teilweise sehr erfahrene Piloten reagierten in Extremsituationen objektiv falsch oder waren von der neuen Mensch-Maschine Schnittstelle einfach überfordert.

6.3 Ersetzen Flugregler die Piloten?

Der Trend ist unverkennbar: In den 50er und 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts saßen in den ersten Verkehrsflugzeugen noch fünf Menschen in einem Cockpit, das fast genauso groß war wie die Passagierkabine selbst. Mit zunehmenden Fortschritt und der Erfindung einfacher und schneller Navigationsverfahren konnte zunächst der Navigator, der mit Hilfe eines Sextanten nach den Sternen navigierte, eingespart werden. Fortschritte im Funk führten zur Ablöse des Funkers und in den 1980er Jahren konnte durch die weitere Automatisierung und die Einführung computergestützter Steuerungs- und Überwachungssysteme auf den Arbeitsplatz des Flugingenieurs verzichtet werden. Der bis dato letzte

große Meilenstein im Automatisierungsprozess folgte 1987 mit der Vorstellung des Airbus A320 und der Einführung der Fly-by-wire Steuerung, bei der ein Computer erstmals massiv in die Entscheidungsfreiheit der Piloten eingriff.

Bis auf wenige Ausnahmen kann heutzutage der Bordcomputer die meisten Aufgaben der Cockpitbesatzung übernehmen. Nur wenige Bereiche, wie z.B. die Entscheidung, ob eine Landung durchgeführt oder abgebrochen werden soll, sind noch in Pilotenhand geblieben. Derzeit ist der Flugzeugführer als letzte Instanz an Bord von Passagiermaschinen noch nicht wegzudenken.

Dass es bereits anders geht, zeigen heute schon pilotenlose Flugzeuge, die z.B. in Asien in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Immer wieder gibt es auch Anfragen der großen Frachtkonzerne, wie UPS oder Federal Express, bei den Flugzeugherstellern zur Entwicklung von Ein- bzw. Keipersonen-Flugzeugen.³⁶⁷ Als Zwischenlösung wird dabei ein Pilot an einer festen Bodenstation angedacht, der – ähnlich dem heutigen Fluglotsen – die Flugzeuge in seinem Sektor übernimmt und über die Flugstraßen leitet. Die größten Vorteile sind:

- die letzte Kontrolle und Entscheidung liegt bei einem Menschen,
- in einem Notfall könnte der Bodenpilot Rat von seinen Kollegen einholen oder einen Krisenstab einberufen,
- durch den Wegfall des Cockpits können 80% der Herstellungs-, Wartungs- und Personalkosten eingespart werden.

Das dieses Konzept nur realisiert werden kann wenn keine Passagiere an Bord sind, ist mit der Angst des Menschen vor dem Fliegen zu begründen. Bevor es pilotenlose Verkehrsflugzeuge geben wird, müsste zunächst die Akzeptanz bei den Passagieren geschaffen werden.

In einem mit 3 Mio € von der Europäischen Kommission geförderten Simulationsexperiment³⁶⁸ haben Wissenschaftler bereits 2007 nachgewiesen, dass ein vollautomatisierter Flugbetrieb grundsätzlich möglich wäre. In dieser Welt gäbe es weder Piloten noch Fluglotsen. Flugregler sind heute schon so vollkommen, dass funkgeleitete Flugzeuge automatisch starten und landen könnten. Satelliten würden die Maschinen über den Flugweg steuern, während ein zentraler Computer auf die notwendige Separation in der Luft achtet.

³⁶⁷ Vgl. Hildebrand, Jan (2008): Der Pilot wird im Cockpit langsam überflüssig. In: WELT ONLINE (27.05.08).

³⁶⁸ Projekt IFATS (Innovative Future Air Transport System)

Ob und wann dieses Automatisierungsszenario Zukunft werden wird – oder Utopie bleibt, wird mehr eine Frage der Wahrscheinlichkeitsrechnung sein, denn der technischen Möglichkeiten. Die Frage wird lauten:

„Wann in der Zukunft wird die Wahrscheinlichkeit, dass eine komplette Automatisierung einen Unfall verursacht, die ein Pilot verhindern kann, geringer sein, als die Wahrscheinlichkeit, dass ein Pilotenfehler einen Unfall verursacht?“³⁶⁹

Zyniker behaupten schon jetzt, dass es dann bei jedem Flugzeugabsturz zumindest zwei Überlebende geben wird: die beiden eingesparten Piloten.

6.4 Abschluss

Der Einsatz von Computern ist heutzutage aus der Luftfahrt und den meisten anderen Bereichen unseres Lebens nicht mehr wegzudenken. Gerade im Flugwesen erfordert die ständig zunehmende Anzahl von Passagieren und die daraus resultierende Überlastung der Flughäfen und Luftstraßen, die Verwendung moderner Techniken. Bei der Analyse der neuen elektronischen Hilfsmittel konnten überwiegend positive Auswirkungen auf den Piloten und die Flugsicherheit festgestellt werden. Allerdings ist dies nur dann der Fall, wenn ein einwandfreies Funktionieren der Rechner garantiert werden kann. Somit liegt auch ein großer Teil der Verantwortung für die Sicherheit des Flugbetriebs bei den Programmierern und Systemdesignern.

Die Untersuchung des Verhältnisses von Mensch und Maschine brachte gravierende Unterschiede zu Tage. So wird es auch in Zukunft kaum möglich sein, ein menschliches Wesen vollständig durch einen Computer zu ersetzen. Der Mensch als letzte Kontroll- und Entscheidungsinstanz wird also auch weiterhin eine wesentliche Bedeutung spielen. Für den effizienten Einsatz eines Computersystems ist außer der einwandfreien Funktion, auch die leichte Bedienbarkeit und Durchschaubarkeit erforderlich. Gerade bei einem Flugzeug kommt es darauf an, dass der Pilot die Informationen des Bordcomputers rasch und präzise interpretieren und entsprechend handeln kann.

Trotzdem muss jeder Anwender eines automatischen Systems stets damit rechnen, dass der Bordcomputer unvorhergesehene Reaktionen zeigen kann. Das heißt, auch ein Pilot eines modernen Verkehrsflugzeuges darf sich nicht vollständig auf die Technik verlassen und muss stets in der Lage sein, auch ohne elekt-

³⁶⁹ Schwahn, Klaus-Jürgen (2009), S. 238.

ronische Hilfsmittel das Flugzeug sicher zu steuern. Computer können Menschen bei ihrer Arbeit unterstützen und überwachen, sie können jedoch niemals Fehler der Anwender mit absoluter Sicherheit verhindern. Als anschauliches Beispiel sei hier das Antiblockiersystem eines Autos genannt. Das ABS verhindert ein Ausbrechen des Autos bei einem starken Bremsmanöver. Es kann jedoch nicht verhindern, dass der Fahrer zu spät bremst oder absichtlich gegen ein Hindernis fährt.

Abschließend sei noch einmal auf die prinzipielle Notwendigkeit hingewiesen, die Technik dem Menschen und seinen Bedürfnissen, aber auch Fehlern anzupassen. Beispiele in dieser Arbeit haben gezeigt, wohin es führen kann, wenn Ingenieure, Techniker und Softwareentwickler nur die ihnen auf dem Papier gestellten Aufgaben betrachten und dabei den Kontakt zu den Flugzeugführern völlig außer Acht lassen. Was sich im ersten Moment und isoliert von anderen Gegebenheiten als günstige Entwicklung oder Fortschritt darstellt, kann sich in der Anwendung, in Verbindung mit anderen Faktoren, als ungünstig, eventuell sogar als gefährlich erweisen. Es ist wohl jedem klar, dass nie alle Testszenarien geprobt, ja nicht einmal erdacht werden können. Umso wichtiger ist es, dass der Pilot nicht gänzlich aus dem Prozess entfernt oder als Unwissender auf das Bedienen von Instrumenten nach Anleitung reduziert wird. Durch diese Maßnahme kann das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine entscheidend verbessert und damit auch für die Sicherheit ein großer Fortschritt erzielt werden.

7 Glossar

Abfangen, Eine Phase bei der Landung eines Flugzeugs. Dabei wird bei Annäherung an den Boden der Anstellwinkel und damit auch der Auftrieb des Flugzeugs erhöht und die Sinkrate reduziert.

Abkippen, auch Abschmieren genannt. Bezeichnung für einen Flugzustand, bei dem es an einer Tragfläche zum Strömungsabriss kommt und das Flugzeug seitlich über diese Tragfläche abrutscht oder abstürzt.

Air Traffic Controller, Fluglotse oder Flugverkehrsleiter, der in seinem Zuständigkeitsbereich alle verkehrenden Flugzeuge vom Start bis zur Landung überwacht und leitet.

Airbus, Bezeichnung für den bedeutendsten europäischen Hersteller von Verkehrsflugzeugen und 100% Tochter der EADS. Die EADS selber ist unter anderem aus der französischen Aérospatiale, der Airbus Deutschland und der spanischen CASA hervorgegangen. Der Hauptsitz des Unternehmens ist Toulouse in Frankreich. Airbus ist neben Boeing der weltweit führende Hersteller von Verkehrsflugzeugen für mehr als 100 Passagiere. Zu den von Airbus entwickelten Verkehrsflugzeugen zählen diverse Varianten der Typen A300, A310, A318/319/320/321, A330, A340 und A380. Mit dem A350 und dem Militärtransporter A400M befinden sich derzeit zwei weitere Flugzeuge in der Flugerprobung bzw. Entwicklung.

Anstellwinkel (engl. Angle of Attack), Bezeichnung für den Winkel unter dem das Profil (genauer gesagt die Profilversehne) einer Tragfläche angeströmt wird. Der Anstellwinkel ergibt sich aus dem Nickwinkel, dem Einstellwinkel und dem Winkel des Windfelds gegenüber der ebenen Erde.

APU, Auch Hilfsgasturbine oder nur Hilfsturbine genannt. Bezeichnung für einen durch eine Turbine angetriebenen Generator zur Versorgung des Flugzeugs mit Strom, Pressluft (über einen Kompressor) und Hydraulikdruck (über eine Hydraulikpumpe), wenn die Triebwerke abgeschaltet oder ausgefallen sind.

ATPL (Airline Transport Pilot License), Die deutsche Bezeichnung ist Verkehrsflugzeugführerlizenz. Bezeichnung für eine von mehreren möglichen Pilotenlizenzen. Die ATPL wird zum gewerbsmäßigen Führen eines Flugzeugs als Flugkapitän (Pilot) oder Erster Offizier (Kopilot) von allen Flugzeugtypen (Mustern) über 5,7 Tonnen benötigt. Für jedes Muster muss der Lizenzinhaber eine gesonderte Ausbildung durchlaufen und eine entsprechende Berechtigung (Type Rating) erwerben.

- Aufsetzpunkt**, Bezeichnet bei der Landung den Ort, an dem das Fahrwerk des Flugzeugs zum ersten Mal die Landebahn berührt.
- Auftrieb (engl. Lift)**, Zusammen mit dem Widerstand, der Gewichtskraft und der Schubkraft ist der Auftrieb eine der vier wichtigsten äußeren Kräfte am Flugzeug. Der Auftrieb wirkt der Schwerkraft entgegen und ermöglicht es so Körpern zu fliegen.
- Autopilot**, Ein Teil des Flugreglers zur automatischen Steuerung des Flugzeugs.
- Avionik**, Zusammenfassender Begriff für den Aufbau und die Arbeitsweise der Funknavigation, der Funktechnik und ihren Navigationseinrichtungen am Boden und an Bord des Flugzeugs sowie die elektronischen Komponenten der Flugsteuerung. Der Name ist eine Kombination der Begriffe Aviation und Elektronik.
- Barometrische Höhenmessung**, Ein Messverfahren, bei dem die Höhe nicht direkt, sondern indirekt durch Umrechnen eines mit einem Barometer gemessenen statischen Drucks ermittelt wird.
- Black Box**, Zusammenfassende Beschreibung für den Flugdatenschreiber (FDR) und den Cockpit Voice Recorder (CVR), deren Daten im Falle eines Unfalls Hinweise auf dessen Ursache geben sollen.
- Blindlandung**, Landung (fast) ohne Erdsicht.
- Böe**, Ein Begriff aus der Meteorologie. Er bezeichnet plötzliche, lokal begrenzt auftretende und kurze, aber gleichzeitig auch starke Windstöße, die oft keine Vorzugsrichtung haben (Scherwind) und sich einer präzisen Vorhersage entziehen.
- Boeing**, Weltweit größter Luft- und Raumfahrtkonzern, und zusammen mit Airbus einer der beiden weltweit führenden Hersteller von Verkehrsflugzeugen mit mehr als 100 Sitzplätzen. Sitz von Boeing ist Chicago (früher Seattle) in den USA. Gegründet wurde Boeing 1916 als „Pacific Aero Products Company“ vom amerikanischen Ingenieur William E. Boeing. Das Unternehmen änderte aber schon ein Jahr später seinen Namen in „The Boeing Aeroplane Company“. Boeing führte in den 1960er Jahren das Familienkonzept in die Flugzeugbranche ein, indem es mit den kurz hintereinander entwickelten Flugzeugen Boeing B737, B727 und B747 eine komplette Produktpalette für den Kurz-, Mittel- und Langstreckenverkehr auf den Markt brachte. Dank dieses Konzeptes konnte sich Boeing gegenüber Konkurrenten wie McDonnell Douglas, Lockheed und Convair langfristig durchsetzen, und ist heute der einzige Hersteller von Verkehrsflugzeugen mit mehr als 100 Sitzplätzen in Nordamerika.
- Bordingenieur (engl. Flight Engineer)**, Überwacht und regelt als dritter Mann im Cockpit von Verkehrsflugzeugen die technischen Systeme. Bei modernen

Passagier- und Frachtmaschinen wird diese Funktion von den beiden Piloten mit übernommen.

Bremsklappe, Eine besondere Form der Klappe, die meist als rechteckige Platte an Ober- oder Unterseite des Tragflügels ausgeführt wird und im ausgefahrenen Zustand fast senkrecht zur Anströmrichtung steht. Bremsklappen führen zu einer starken Erhöhung des Widerstandes und gleichzeitig zum lokalen Zusammenbruch des Auftriebs.

Briefing, Ein Begriff aus der Verkehrsfliegerei. Er bezeichnet allgemein das Treffen einer Crew vor einem Flug, auf dem die Abläufe an Bord (Servicereihenfolge), Besonderheiten wie z.B. mitreisende Passagiere (Alte, Kranke, Kinder, Prominente), das zu erwartende Wetter, die Fluglänge etc. besprochen werden.

Center Pedestal, Bedienkonsole zwischen den beiden Piloten.

CFIT (Controlled Flight into Terrain), Bezeichnung für einen Flugverlauf bei dem es zu einer Bodenberührung und zum Absturz des Flugzeugs kommt, obwohl der Pilot das Flugzeug zuvor unter Kontrolle hatte, und kein kritischer Flugzustand vorlag.

Check Captain (Check Pilot), Besonders qualifizierter Pilot, der im Auftrag der Luftfahrtbehörde die Besatzungen von Verkehrsflugzeugen auf ihren Ausbildungsstand prüft.

Clean Configuration, Konfiguration des Flugzeugs, die einen möglichst geringen Widerstand erzeugt. Dazu zählen z.B. eingefahrene Klappen und ein eingezogenes Fahrwerk.

Cockpit Voice Recorder (CVR), Gerät an Bord des Flugzeugs, das während des Fluges die Gespräche und Geräusche im Cockpit aufzeichnet. Abgespeichert werden im CVR jeweils die letzten 30 Minuten.

Cockpit, auch Führerkanzel, Führerraum, Pilotenkanzel oder einfach nur Kanzel genannt. Das Cockpit befindet sich im Bug eines Flugzeugs und ist der Steuerraum, in welchem der Pilot ein Flugzeug lenkt. Alle Informations- und Bedienelemente sind dort zusammengeführt.

Digital Flight Data Recorder (DFDR), Bezeichnung für einen modernen Flugdatenschreiber, der zur Aufzeichnung der Flugdaten einen digitalen Speicherchip verwendet.

Durchstarten, Bezeichnung für einen Landeanflug, der nicht mit einer Landung endet, sondern abgebrochen und in einen Steigflug überführt wird. Berührt das Fahrwerk des Flugzeugs dabei die Landebahn, so spricht man von einem Touch-And-Go, andernfalls von einem Go-Around. Typische Gründe für ein Durchstarten sind eine blockierte Landebahn, ein anderes Flugzeug in

unmittelbarer Umgebung, ein Fehlanflug oder plötzlich auftretende Windböen.

FCU (Flight Control Unit), Ein Eingabegerät zur Programmierung des Autopiloten durch den Piloten.

Fehlanflugverfahren (engl. Missed Approach Procedure), Bezeichnung für ein Verfahren das eingeleitet wird, wenn ein Landeanflug nicht mit einer Landung abgeschlossen werden kann, z.B. weil die Landebahn bei Erreichen der Entscheidungshöhe noch nicht sichtbar ist.

Flaps, Für Start und Landungen aus der Tragfläche ausfahrbare Klappen. Es verändert sich das Profil der Flügel, wodurch sich ein erhöhter Auftrieb ergibt.

Flight Deck, International gängiger Ausdruck für das Cockpit und das dort tätige Luftfahrtpersonal.

Flight Director, Eine besondere Form der manuellen Steuerung, bei der der Pilot den Anweisungen eines Flugreglers folgt um eine gewünschte Flugbahn nachzufliegen.

Flight Envelope Protection, Ein System, das durch zwischenschalten von Rechnern die Steuerung in instabile oder nicht zulässige Flugzustände verhindert.

Flight Envelope, Bezeichnung für den Bereich von mehreren Zustandsgrößen, innerhalb dessen das Flugzeug (sicher) geflogen werden kann. Der ganze Bereich wird von mehreren Hüllkurven umschlossen, die sich aus grenzwertigen Flugbedingungen ergeben: Maximaler Triebwerkschub, Überziehgeschwindigkeit sowie Steigrate von Null.

Flugdatenschreiber (engl. Flight Data Recorder, FDR), Gerät an Bord des Flugzeugs, das während des Fluges technische Daten aufzeichnet die im Falle eines Unfalls Hinweise auf dessen Ursache geben sollen. Flugdatenschreiber und CVR bilden zusammen die Black Box. Moderne Flugdatenschreiber erfassen permanent bis zu mehreren hundert Parametern, die Hinweise über den Flugzustand und den technischen Zustand des Flugzeugs geben. Zu den aufgezeichneten Daten gehören z.B. die Fluggeschwindigkeit, die Flughöhe, die Stellung von Klappen, Rudern und Fahrwerk, der Treibstoffverbrauch, die Leistung der Triebwerke, die Fluglage (z.B. Anstell- und Schiebewinkel, Nick-, Roll- und Gierwinkel), der Steuerkurs und die UTC. International sind davon nur 20 Parameter für kleine bzw. 28 Parameter für große Flugzeuge bindend vorgeschrieben, deren Verlauf allerdings für die letzten 25 Stunden im Flugdatenschreiber dokumentiert sein muss.

Flugunfall, Ein Vorfall, bei denen Personen in Verbindung mit einem Luftfahrzeug oder Teilen von ihm getötet oder schwer verletzt werden. Als Flugunfall gilt auch, wenn das Luftfahrzeug im Fluge oder bei Bewegungen auf dem Boden

in seiner strukturellen Festigkeit Schaden nimmt, infolge dessen seine Leistungs- und Flugeigenschaften beeinträchtigt sind und diese Beschädigungen größere Reparaturen oder den Austausch betroffener Teile erfordern.

Fly-by-Wire, Ein Steuerungsprinzip bei dem die traditionelle mechanische Verbindung zwischen dem Cockpit und den Rudern (bis auf eine Notsteuerung) durch eine elektrische Verbindung ersetzt wird.

FMGS (Flight Management and Guidance System), Bei einem modernen Flugregler ein übergreifendes System, das die Komponenten Flugmanagement System (FMS) und Flight Guidance System (FGS) zusammenfasst.

FMS (Flight Management System), Ein übergeordnetes System eines modernen Flugreglers, das den Piloten in übergeordneten Aufgaben der Flugführung unterstützt, z.B. Planung von einzelnen Trajektorien oder ganzen Flugabschnitten vom Start bis zur Landung; Optimierung der Flugwegführung (z.B. minimaler Kraftstoffverbrauch; Einhaltung von Zeitvorgaben) unter Beachtung aller Randbedingungen (z.B. Leistungsgrenze des Triebwerks, Aerodynamik, Komfort-Anforderungen); Automatische Führung des Flugzeugs mit Hilfe der untergeordneten Systeme Flight Guidance System (FGS) und Flight Control Computer (FCC); Überwachung des Flugzustands, z.B. Einhaltung der Flight Envelope; Verwaltung des Treibstoffhaushalts sowie Navigationsaufgaben.

Funkfeuer, Allgemeine Bezeichnung für unbemannte Bodenstationen, die in der Funknavigation im Rahmen von Richtungsmessverfahren eingesetzt werden.

Fuß (Foot), In der Luftfahrt häufig verwendetes Längenmaß, entspricht 0,3048 Meter.

g, Kurzzeichen für das Maß der Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$. Dieser Wert ist dabei nur ein Mittelwert, der in Meereshöhe gültig ist. Die tatsächliche Erdbeschleunigung nimmt mit zunehmender Flughöhe ab, und variiert auch – bedingt durch die von einer exakten Kugel abweichende Form und Masseverteilung der Erde – von Ort zu Ort.

Gieren (engl. Yaw), Bewegung des Flugzeugs im Flug um seine vertikale Hochachse. Das Gieren wird über die Seitenrudder gesteuert.

GPWS (Ground Proximity Warning System), Bodenabstands-Warnsystem an Bord des Flugzeugs, das den Piloten bei Annäherung an den Erdboden durch ein akustisches Signal warnt. Das GPWS basiert auf einem Radiohöhenmesser, der den aktuellen Abstand des Flugzeugs zum Erdboden misst. Erkennt das System einen unzureichenden Abstand zwischen dem Flugzeug und der Erdoberfläche, erfolgt der Alarm.

Höhenleitwerk, Zusammenfassende Bezeichnung für die Höhenflosse und das in sie integrierte Höhenruder.

Höhenruder (engl. Elevators), Bezeichnung für die Ruder, mit denen das Nicken des Flugzeugs, also seine Bewegung um die Querachse, gesteuert wird.

Hydraulik, Bewegt mechanisch mit Flüssigkeitsdruck Flugzeugsysteme, zum Beispiel das Fahrwerk.

Idle Power, Leerlauf eines Triebwerks oder Propellers.

Idle, Leerlauf.

Instrumentenlandesystem (engl. Instrument Landing System, ILS), Ein System der Funknavigation, das Piloten insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen während der Landung bis zum Aufsetzen auf der Landebahn unterstützt. Mit Hilfe eines Instrumentenlandesystems ist es möglich, auch bei schlechten Sichtverhältnissen einen sicheren Flugbetrieb durchzuführen, und damit Verfügbarkeit und Kapazität eines Flugplatzes zu erhöhen.

Klappen (engl. Flaps für Hinterkantenklappen bzw. Slats für Flügelvorderkantenklappen), Klappen werden an den Vorder- und Hinterkanten eines Tragflügel angebracht und dienen der Beeinflussung von Auftrieb und Widerstand. Sie erlauben den Ausgleich unterschiedlicher Anforderungen an einen Tragflügel bei Start und Landung sowie im Reiseflug.

Knoten (engl. Knots), Einheit für Geschwindigkeiten (Fluggeschwindigkeit, Windgeschwindigkeit etc.) in der Luft- und Seefahrt. Ein Knoten entspricht dabei einer Geschwindigkeit von einer Seemeile (= nautischer Meile) pro Stunde; wobei eine Seemeile 1.852 Meter hat.

Kritischer Anstellwinkel, Bezeichnung für den Anstellwinkel, bei dem es an einem Profil zu einer abgelösten Strömung und damit zum Verlust des Auftriebs kommt.

Künstlicher Horizont, Cockpitinstrument, das dem Piloten auch ohne Außensicht die Lage des Flugzeugs relativ zur Erdoberfläche anzeigt.

Landeschwelle (engl. Threshold), Die Landeschwelle ist der Anfangspunkt jenes Teiles einer Landebahn, der für die Landung verwendet werden kann. Bei einer regulären Landung ist die Landeschwelle also der früheste Punkt des Aufsetzens eines Flugzeugs.

Musterzulassung (engl. Type Certification für den Prozess bzw. Type Certificate für das Dokument), Bezeichnet die Zertifizierung neu entwickelter Luftfahrzeuge, Triebwerke, Propeller, Geräte und Ausrüstungen mit dem Ziel, die Sicherheit des Luftverkehrs und der öffentlichen Sicherheit zu gewährleisten.

- Nasenklappe**, Bezeichnung für eine Klappe an der Vorderkante des Tragflügels. Die Nasenklappe wird als Landeklappe zur Erzeugung zusätzlichen Auftriebs bei der Landung und zum Teil auch beim Start eingesetzt.
- ND (Navigation Display)**, Bezeichnung für ein zentrales Anzeigeelement im Cockpit, das zusammen mit dem Primary Flight Display (PFD) die Informationen einer Vielzahl von Einzelinstrumenten sehr kompakt zusammenfasst.
- Near Miss**, Gefährliche Begegnung von Luftfahrzeugen auf Kollisionskurs.
- Nicken (engl. Pitch)**, Bezeichnung für die Bewegung des Flugzeugs im Flug um seine horizontale Querachse. Das Nicken kann über die Höhenruder gesteuert werden.
- NOTAM (Notice to Airmen)**, Bezeichnung für dringende Anordnungen und Informationen der Flugsicherung, die der Flugberatungsdienst fernschriftlich, also z.B. per Fax, verbreitet. NOTAM's enthalten Informationen die aufgrund ihrer Dringlichkeit nicht in postalisch zugestellten Publikationen der Flugberatung wie z.B. den Nachrichten für Luftfahrer oder dem Luftfahrthandbuch (AIP) veröffentlicht werden können. NOTAM's informieren z.B. über Schließungen von Start- und Landebahnen, den Ausfall von Navigationssystemen, oder die Wiederinbetriebnahme von Start- und Landebahnen nach Wartungsarbeiten oder Schneeräumung.
- Overhead Panel**, Anordnung von Bedienelementen im Cockpit über den Köpfen der Besatzung.
- Panel**, Instrumentenbrett im Cockpit.
- PFD (Primary Flight Display)**, Bezeichnung für ein zentrales Anzeigeelement im Cockpit, das zusammen mit dem Navigation Display (ND) die Informationen einer Vielzahl von Einzelinstrumenten kompakt zusammenfasst. Das PFD ist ein wichtiger Teil des EFIS und stellt als elektronisches Anzeigeelement die Weiterentwicklung des elektromechanischen ADI dar. In seinem Zentrum befindet sich ein Fluglageanzeiger, der Längs- und Querneigung des Flugzeugs mit Farben und Winkelangaben anzeigt. Am Rand befinden sich typischerweise Anzeigen für Soll- und Istwerte der Flugeschwindigkeit, der Steig- bzw. Sinkrate, und des Steuerkurses.
- PIC (Pilot in Command)**, Im Deutschen auch als verantwortlicher Flugzeugführer bezeichnet.
- Pilot**, Ein Teil der Crew an Bord eines Flugzeuges. Es handelt sich um den Flugzeugführer, der durch eine entsprechende Ausbildung in der Lage ist, das Flugzeug vom Cockpit aus zu steuern. Aus Sicherheitsgründen ist in Verkehrsflugzeugen mit einem Gesamtgewicht über 5,7 Tonnen und mehr als 19 Passagieren eine Besatzung mit zwei Piloten vorgesehen, von denen der eine der Flugkapitän (kurz nur Kapitän genannt) und der andere der Kopilot

bzw. Erster Offizier (First Officer, FO) ist. Jeweils nur einer von ihnen hat zu einem Zeitpunkt die Kommandogewalt über das Flugzeug und ist damit aus Sicht des Luftrechts der verantwortliche Flugzeugführer.

Platzlotse, auch Towerlotse genannt. Bezeichnung für einen Fluglotsen der im Tower eines Flugplatzes für die Platzkontrolle verantwortlich ist. Im Gegensatz zu den Centerlotsen haben die Platzlotsen direkten Sichtkontakt zum Flugzeug.

QFE-Einstellung, Besonders bei Segelflugzeugen verwendete Höhenmesser-Einstellung des barometrischen Höhenmessers, zur Umrechnung des gemessenen Luftdrucks in eine Höhe über Grund. Bei der QFE-Einstellung wird der Höhenmesser vor dem Start am Flugplatz auf Null abgeglichen. Im Flug wird der gemessene Staudruck dann in (barometrische) Höhen über Grund umgerechnet. Die QFE-Einstellung wird vor allem in Flugplatznähe eingesetzt.

QNH-Einstellung, Bezeichnung für die Einstellung am barometrischen Höhenmesser die bestimmt, wie der gemessene Luftdruck in eine Höhe über Normalnull umgerechnet wird.

Querruder (engl. Aileron), Bezeichnung für die Ruder, mit denen das Rollen des Flugzeugs, also die Bewegung um die Längsachse, gesteuert wird.

Radiohöhenmesser, Besondere Ausführung des Höhenmessers, die auf der Messung eines vom Flugzeug ausgesendeten und wieder empfangenen UHF-Signals basiert. Im Gegensatz zur barometrischen Höhenmessung wird bei der Radiohöhenmessung nicht die Höhe über Normalnull, sondern die Höhe über Grund, also der vertikale Abstand des Flugzeugs von der Erdoberfläche, gemessen.

Ram Air Turbine (RAT), Bezeichnung für einen Notgenerator, der über einen durch den Fahrtwind angetriebenen Propeller und einen Generator Energie für die hydraulische Steuerung des Flugzeugs liefert.

Rollbewegung, Drehschwingung des Flugzeugs, die sich im Wesentlichen um die Längsachse als periodische Zu- und Abnahme des Rollwinkels ausbildet.

Rotation, Vorgang beim Start eines Flugzeugs, bei dem der Pilot das Flugzeug mit Hilfe der Höhenruder um das Hauptfahrwerk rotieren lässt, das Bugrad anhebt, und dadurch den Anstellwinkel des Tragflügels erhöht. Dabei hebt das Flugzeug noch nicht vom Boden ab; allerdings wird durch die Erhöhung des Anstellwinkels der Auftrieb so weit vergrößert, dass das Abheben kurz darauf erfolgen kann.

Ruder, Zusammenfassende Bezeichnung für bewegliche Flächen, die der Steuerung des Flugzeugs um seine Längs-, Hoch- und Querachse dienen.

- Schub (engl. Thrust)**, Bezeichnung für die Kraft, die ein Triebwerk auf das Flugzeug ausübt, um dieses durch die Luft zu bewegen. Die Schubkraft ist neben der Gewichtskraft, dem Auftrieb und dem Widerstand eine der vier wichtigsten äußeren Kräfte am Flugzeug. Die Leistung, die der Schub erzeugt, wird als Vortrieb bezeichnet.
- Schubumkehr (engl. Reverse Thrust bzw. Thrust Reverser)**, Ein Verfahren zur Verkürzung der Landestrecke eines Flugzeugs, bei dem der Schub des Antriebs nach dem Aufsetzen des Flugzeugs gegen seine Bewegungsrichtung umgelenkt wird.
- Seitenruder (engl. Rudder)**, Bezeichnung für ein Ruder, mit dem das Gieren des Flugzeugs, also seine Bewegung um die Hochachse, gesteuert wird.
- SID (Standard Instrument Departure)**, Bezeichnung für standardisierte Abflugrouten eines Flugplatzes.
- Side Stick**, Bezeichnung für ein elektronisches Eingabegerät bei Fly-by-Wire Systemen. Bei Fly-by-Wire Systemen ist die mechanische Verbindung (z.B. über Seilzüge oder Hydrauliksysteme) zwischen dem Steuerknüppel des Piloten und den Rudern durch eine elektrische Verbindung zur Ansteuerung von Stellmotoren ersetzt worden. Damit kann auch der traditionelle, große Steuerknüppel zum Aufbringen großer Stellkräfte entfallen.
- Simulator**, Mit allen Instrumenten und Bedienelementen ausgestattetes stationäres, häufig um mehrere Achsen bewegliches Cockpit für Ausbildung und Schulung von Piloten.
- Sinkrate**, Bezeichnung für die vertikale Geschwindigkeit im Sinkflug, also die Geschwindigkeit, mit der ein Flugzeug an Höhe verliert.
- Stall**, Flugzustand, bei dem der aerodynamische Auftrieb zusammenbricht. Das Flugzeug wird unkontrollierbar.
- Steigrate (engl. Vertical Speed)**, Vertikale Geschwindigkeit im Steigflug, also Geschwindigkeit mit der ein Flugzeug an Höhe gewinnt. Sie wird üblicherweise in Fuß pro Minute gemessen und am Variometer abgelesen.
- Steuerhorn, Steuerknüppel**, Gerät, über das der Pilot seine Steuerbefehle an das Flugzeug übermittelt.
- Störklappe (engl. Spoiler)**, Auftriebsvernichter. Vorrichtung, die bei Auslenkung in den Luftstrom über einer Oberfläche die Strömung verändert. Im Falle eines Tragflügels wird der Auftrieb verringert und der Widerstand erhöht.
- TAS (True Air Speed)**, Im Deutschen auch als wahre Eigengeschwindigkeit bezeichnet. Die TAS ist die wahre Fluggeschwindigkeit des Flugzeugs, d.h. seine wirkliche Geschwindigkeit gegenüber der umgebenden Luft.

- Throttle**, Ein Hebel, mit dem die Triebwerksleistung von Strahlflugzeugen geregelt wird.
- Thrust Lever**, Gashebel.
- Thrust**, Schub eines Strahltriebwerks.
- Trimmung**, Festgelegte Ruderausschläge zur Erreichung der Eigenstabilität eines Flugzeugs.
- Überziehen**, Bezeichnung für das bewusste oder unbewusste Herbeiführen eines Flugzustands, bei dem nicht mehr ausreichend Auftrieb erzeugt werden kann um das Flugzeug in der Luft zu halten.
- Überziehggeschwindigkeit (engl. Stall Speed)**, Auch Abrissgeschwindigkeit oder Stall-Geschwindigkeit genannt. Bezeichnung für die Fluggeschwindigkeit bei der es zu einem überzogenen Flugzustand kommt.
- Überzogener Flugzustand**, Bezeichnung für einen gefährlichen Flugzustand, bei dem es am Tragflügel in Folge eines zu hohen Anstellwinkels zu einem Strömungsabriss, und damit zu einem Abfall des Auftriebs kommt.
- UTC (Universal Time Coordinated)**, Auch als GMT (Greenwich Mean Time), Zulu Time oder Zulu Zeit bezeichnet. UTC ist ein weltweit gültiger Zeitstandard, der in der Luftfahrt u.a. für Zeitangaben für Navigation und Flugsicherung, in Wetterberichten und zur Angabe von Zeiten in Flugplänen verwendet wird.
- Variometer**, Ein Begriff aus der Instrumentenkunde. Er bezeichnet dort ein Instrument zur Anzeige der Steigrate oder Sinkrate des Flugzeugs. Die Anzeige erfolgt dabei gewöhnlich in Fuß pro Minute. Das Variometer ist eines der Hauptfluginstrumente und Bestandteil der Einheitsinstrumentenanordnung.
- VOR (VHF Omnidirectional Range)**, Im Deutschen ist VOR auch als UKW-Drehfunkfeuer bekannt. Das VOR System gehört zu den Richtungsmessverfahren in der Funknavigation; dabei sendet eine Bodenstation elektromagnetische Signale aus, die im Flugzeug ausgewertet und als Steuerkurs des Flugzeugs gegenüber dem magnetischen Nordpol angezeigt werden können.
- Vorflügel (engl. Slats)**, Bezeichnung für eine Klappe an der Vorderkante des Tragflügels.
- Vortriebsregler (engl. Auto Throttle oder Auto Thrust)**, Eine Komponente des Flugreglers die den Triebwerksschub ansteuert und so eine unabhängige Regelung von Fluggeschwindigkeit und Flughöhe ermöglicht.
- Way Point**, Navigationspunkte, die durch Koordinaten definiert werden.

Widerstand (engl. Drag), Ein Begriff der Aerodynamik. Zusammen mit dem Auftrieb, der Gewichtskraft und der Schubkraft ist der Widerstand eine der vier wichtigsten äußeren Kräfte am Flugzeug. Der Widerstand wirkt parallel zur Anströmrichtung und führt dazu, dass Energie vom Flugzeug abgeführt wird. Diese Energie kann z.B. über die Triebwerke durch die Energie des Kraftstoffs ersetzt werden oder durch Aufnahme von Energie aus der Umgebung wie beim Segelflugzeug im Aufwind.

Windscherung, Bezeichnung für ein rasches und deutliches Umschlagen der Windrichtung innerhalb weniger Sekunden, beispielsweise von Gegen- auf Rückenwind innerhalb von fünf Sekunden. Eine solche Scherung ist oft mit einem kleinräumigen, starken Fallwind verbunden. Windscherung ist für Luftfahrzeuge besonders während Start und Landung gefährlich. Es kann hierbei zu großen Schwankungen der Eigengeschwindigkeit und der Sinkrate kommen, so dass das Luftfahrzeug unter Umständen zu Boden gedrückt wird.

Zwischenfall, Ein Vorfall im Luftverkehr, bei dem es sich nicht um ein Flugzeugunglück oder einen Unfall handelt, der aber mögliche Auswirkungen auf die Sicherheit des Betriebs eines Flugzeugs hat.

8 Literaturverzeichnis

Hinweis: Die Internetlinks wurden zuletzt am 1. Oktober 2010 überprüft.

Behörden, Flugzeughersteller und Standards

Airbus Industrie (Hrsg.) (1991): The A320 Habsheim accident – An Airbus Industrie response to allegations made in television programmes and other media. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (1998): Service Bulletin No. A320-27-1088: Flight Controls – SEC System – Activate Phased Lift Dumping Function. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2001): A340-600 Flight Crew Operating Manual for Virgin Atlantic Volume 1 – Systems Description (Revision 17). Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2002a): A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual for CCM (Compagnie Aérienne Corse Méditerranée) Airlines Volume 1 – System Description (Revision 35). Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2002b): A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual for CCM (Compagnie Aérienne Corse Méditerranée) Airlines Volume 4 – FMGS Pilot's Guide (Revision 14). Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2003): A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual for CCM (Compagnie Aérienne Corse Méditerranée) Airlines Volume 3 – Flight Operations (Revision 36). Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2004): Dual Side Stick Input Indicators and Warning – A Reminder on Available Modifications. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2006): A380-800 – Flight Deck and Systems Briefing for Pilots. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2008): Press Release – Reduced pilot training now approved for the A380 (15.02.2008).

Unter: http://www.airbus.com/en/presscentre/pressreleases/pressreleases_items/08_02_15_reduced_pilot_training.html

Airbus Industrie (Hrsg.) (2009): Service Bulletin No. A320-24-1120: Electrical Power – AC Essentials Generation Switching – Install Auto Switching System for AC and DC ESS Bus. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie (Hrsg.) (2010): Modification Operational Impact (MOI) 39227 / P10963 (A320 FAM). Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie Flight Division (Hrsg.) (1988): OEB (Operations Engineering Bulletin) Bulletin N° 06/2. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Airbus Industrie Flight Division (Hrsg.) (2010): Airbus A320-214 Airplane Flight Manual. Blagnac Cedex, France: Airbus Industrie.

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2003): Untersuchungsbericht 5X004-0/01 (Schwere Störung, 20. März 2001, Frankfurt/Main, Airbus Industrie A320-200). Braunschweig: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU).

Unter: http://www.bfu-web.de/cln_007/nn_223970/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/2001/Bericht_5X004-01,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Bericht_5X004-01.pdf

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) (Hrsg.) (2010): Untersuchungsbericht 5X003-0/08 (Schwere Störung, 01. März 2008, Hamburg, Airbus Industrie A320-211). Braunschweig: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU).

Unter: http://www.bfu-web.de/cln_015/nn_223970/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/2008/Bericht_08_5X003_A320_Hamburg-Seitenwindlandung,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Bericht_08_5X003_A320_Hamburg-Seitenwindlandung.pdf

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (1993): Rapport de la commission d'enquête sur l'accident survenu le 20 janvier 1992 près du Mont Sainte-Odile (Bas Rhin) à l'Airbus A 320 immatriculé F-GGED exploité par la compagnie Air Inter (F-ED920120). Le Bourget Cedex, France: Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA). Unter:

<http://www.bea.aero/docspa/1992/f-ed920120/htm/f-ed920120.html>

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (2009a): Interim Report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris (F-CPO90601AE). Le Bourget Cedex, France: Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA). Unter: <http://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601e1.en/pdf/f-cp090601e1.en.pdf>

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) (Hrsg.) (2009b): Interim Report n°2 on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris (F-CPO90601AE2). Le Bourget Cedex, France: Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA). Unter: <http://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601e2.en/pdf/f-cp090601e2.en.pdf>

Bureau of Air Safety Investigation (BASl) (Hrsg.) (1993): Special Investigation Report B/916/3032, DC-10 Series 30ER Aircraft HS-TMC and A320-211 Aircraft VH-HYC, Near collision at Sydney (Kingsford Smith) Airport 12 August 1991. Canberra: Bureau of Air Safety Investigation (BASl). Unter: http://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/1991/aair/pdf/199100052.pdf

Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) (Hrsg.) (2006): Technical report A-006/2001 – Accident of aircraft Airbus A-320-214, registration EC-HKJ, at Bilbao Airport on 7 February 2001. Madrid: Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC). Unter: http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/8B514392-B79A-46DC-A7C8-DC1BA137D076/23171/2001_006_A_ENG1.pdf

Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB) (Hrsg.) (2006): AAIB Bulletin S3/2006 Special – G-EUOB – EW/C2005/10/05. Aldershot, Hants: Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB). Unter: http://www.aaib.gov.uk/publications/special_bulletins/s3_2006_airbus_a319_131_g_euob.cfm

Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB) (Hrsg.) (2008): Report No: 2/2008. Report on the serious incident to Airbus A319-131, registration G-EUOB, during the climb after departure from London Heathrow Airport on 22 October 2005. Aldershot, Hants: Department for Transport – Air Accidents Investigation Branch (AAIB). Unter: http://www.aaib.gov.uk/publications/formal_reports/2_2008_g_euob.cfm

Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) (1990a): Commission d'Enquête sur l'accident survenu le 26 juin 1988 à Mulhouse-Habsheim (68) à l'Airbus A 320, immatriculé F-GFKC - Rapport Final (F-KC880626). Paris Cedex 15, France: Direction des Journaux Officiels. Unter:

<http://www.bea.aero/docspa/1988/f-kc880626/pdf/f-kc880626.pdf>

Direction des Journaux Officiels (Hrsg.) (1990b): Commission d'Enquête sur l'accident survenu le 26 juin 1988 à Mulhouse-Habsheim (68) à l'Airbus A 320, immatriculé F-GFKC - Rapport Final (Additif) (F-KC880626). Paris Cedex 15, France: Direction des Journaux Officiels. Unter:

<http://www.bea.aero/docspa/1988/f-kc880626/pdf/f-kc880626.pdf>

Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) (Hrsg.) (2001): Telegraphic Airworthiness Directive N° T2001-106 (B) Airbus Industrie A319/A320 aircraft – Flight Control- ELAC Computer – (ATA27).

Unter: http://www.mzp.gov.si/fileadmin/mzp.gov.si/pageuploads/DL_AD_NOTE2001/17_DGAC_T2001-106_B_.pdf

Europäische Union (Hrsg.) (2008): Verordnung (EG) Nr. 8/2008 der Kommission vom 11. Dezember 2007 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates in Bezug auf gemeinsame technische Vorschriften und Verwaltungsverfahren für den gewerblichen Luftverkehr mit Flächenflugzeugen.

Unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:010:0001:0206:DE:PDF>

International Civil Aviation Organization (Hrsg.) (2001): Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation – Operation of Aircraft (Part I: International Commercial Air Transport – Aeroplanes). Montréal: International Civil Aviation Organization.

Krahe, Chris (1996): Airbus Fly-by-wire Aircraft at a Glance – A Pilot's first view. In: FAST – Airbus Technical Digest. Herausgegeben von Airbus Industrie Customer Services. Number 20, December 1996. S. 2-9.

Luftfahrt-Bundesamt (LBA) (Hrsg.) (2001): Lufttüchtigkeitsanweisung LTA-Nr.: 2001-138. Unter: <http://www2.lba.de/dokumente/lta/2001/2001138.pdf>

Potocki de Montalk, Peter (1991): Computer Software in Aircraft. In: FAST – Airbus Technical Digest. Herausgegeben von Airbus Industrie. Number 11, January 1991. S. 11-21.

Price, John D. H. (1985): Windshear. In: FAST – Airbus Technical Digest. Herausgegeben von Airbus Industrie. Number 6, November 1985. S. 2-11.

RTCA, Inc. (Hrsg.) (1992): RTCA DO-178B – Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. Washington, D.C.: RTCA, Inc.

RTCA, Inc. (Hrsg.) (2007): RTCA DO-160F – Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment. Washington, D.C.: RTCA, Inc.

Thales Avionics (Hrsg.) (2004): New FM Pilot's Guide REV 1 A318/A319/A320/A321. Meudon-la-Forêt Cedex, France: Thales Avionics.

The Boeing Company (Hrsg.) (2007): 787-8 – Flight Crew Operations Manual. Seattle, Washington: The Boeing Company.

Vadrot, Régine; Christian Aubry (1994): CCG Cross Crew Qualification and mixed fleet flying. In: FAST – Airbus Technical Digest. Herausgegeben von Airbus Industrie Customer Services. Number 17, December 1997. S. 21-26.

Fachbücher

Asseline, Michel (1992): Le pilote est-il coupable? Paris, Edition°1.

Bechtermünz Verlag (Hrsg.) (1997): Flugzeugtypen der Welt: Modelle – Technik – Daten. Augsburg: Bechtermünz Verlag im Weltbild Verlag GmbH.

Braunburg, Rudolf (1991): Der Pilot – Traum, Beruf, Abenteuer. München: Verlag Georg D. W. Callwey GmbH & Co.

Charwat, Hans Jürgen (1994): Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation. München: R. Oldenbourg Verlag GmbH.

Gradidge, Jeniffer M. (2006): The Douglas DC-1/DC-2/DC-3: The First Seventy Years (Volume 1). Tonbridge, Kent: Air-Britain (Historians) Ltd.

Grant, R. G. (2008): Fliegen – Die Geschichte der Luftfahrt. München: Dorling Kindersley Verlag GmbH.

Hurst, Ronald; Leslie Hurst (1991): Flugunfälle und ihre Ursachen – Menschliches Versagen? Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Karagiannis, Dimitris; Rainer Telesko (2001): Wissensmanagement: Konzepte der künstlichen Intelligenz und des Softcomputing. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

Marshall Cavendish Limited (Hrsg.) (1986): Fluggesellschaften und Linienflugzeuge. Koblenz: Bernard & Graefe Verlag.

Morgenstern, Karl; Dietmar Plath (1992): Airbus A320/A321. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Morgenstern, Karl; Dietmar Plath (2005): Airbus: Geschichte – Erfolge – Flugzeugtypen. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Müller, Peter (1983): Airbus – Der flüsternde Europäer. Wien: Europa Verlag GesmbH.

Müller, Peter (1987): Computer in der Luftfahrt – Reise ins dritte Jahrtausend. Wien: Europa Verlag GesmbH.

Richter, Jan-Arwed; Christian Wolf (2006): Feuer an Bord! Flugunfälle: Hintergründe, Ursachen und Konsequenzen. München: GeraMond Verlag.

Schuberdt, Christian-Heinz (2005): Handbuch zur Flugunfalluntersuchung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Schuberdt, Christian-Heinz (2008): Flugunfälle – Flugunfalluntersuchung in Deutschland. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Schwahn, Klaus-Jürgen (2009): Beruf Pilot – Voraussetzungen, Ausbildung, Alltag. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Spitzer, Cary R. (Hrsg.) (2001): The Avionics Handbook. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

Thomalla, Volker K.; Sebastian Steinke (2008): Der Airbus A380. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

van Beveren, Tim (1996): Runter kommen sie immer – Die verschwiegenen Risiken des Flugverkehrs. Frankfurt/Main: Campus Verlag.

van Beveren, Tim (2005): Das Risiko fliegt mit – Die versteckten Gefahren im Flugverkehr. Frankfurt am Main: Eichborn Verlag.

Weyer, Johannes (2008): Techniksoziologie: Genese, Gestaltung und Steuerung sozio-technischer Systeme. Weinheim und München: Juventa Verlag.

Williams, Brian (1974): Tessloff Wissen Band 2 – Luftfahrt. Hamburg: Neuer Tessloff Verlag.

Zeitschriften

Bechet, Claude (1990a): French Report Details 1988 Crash Of A320 Following Air Show Flyby. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 132, No. 23, June 4, 1990. S. 107-109.

Bechet, Claude (1990b): Flight Recorders Detail A320's Engine, Control Settings for Air Show Flyby. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 132, No. 24, June 11, 1990. S. 78-79.

Bechet, Claude (1990c): Post-Crash Fire Destroyed A320 Following Plunge Through Trees. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 132, No. 25, June 18, 1990. S. 99-103.

Bechet, Claude (1990d): Cabin Crew Evacuated A320 Passengers Until Smoke, Flames Became Too Intense. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 132, No. 26, June 25, 1990. S. 98-99.

Bechet, Claude (1990e): Simulator, Actual Flights Reproduced A320's Maneuvers, Engine Parameters. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 133, No. 2, July 9, 1990. S. 60-64.

Bechet, Claude (1990f): Commission Finds Flight Preparations Not in Accordance With Air France Rules. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 133, No. 4, July 23, 1990. S. 90-93.

Bechet, Claude (1990g): Commission Proposes More Preparation, Special Training for Airshow Flyovers. In: Aviation Week & Space Technologie. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 133, No. 5, July 30, 1990. S. 90-93.

Bonneau, Bertrand (1990): Aéronautique – Les Crises de nerfs de l'A 320 [Englische Übersetzung: Mellor, Peter (1990)]. In: Science & Vie. Herausgegeben von Excelsior Publications S.A. Mensuel – N° 871, Avril 1990. S. 94-101.

Burgner, Norbert (1993): LH-Crash in Warschau: Erste Anhaltspunkte. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. November 1993. S. 27.

Burgner, Norbert (1997): Space Age: Der revolutionärste Airliner. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. September 1997. S. 36-44.

Chambers, Alan B.; David C. Nagel (1985): Pilots of the future: human or computer? In: Communications of the ACM. Herausgegeben von Association for Computing Machinery, Inc. Volume 28, Number 11 (November 1985). S. 1187-1199.

Chopping, Douglas H. (Hrsg.) (1980): Airbus A310 – Debatte über Cockpitauslegung und Mindestbesatzung. In: Interavia. Herausgegeben von Interavia S.A. 35. Jahrgang, Heft 3, März 1980. S. 227-230.

Condom, Pierre (1985): Bordsysteme für die Airbus A320: Spielraum für Innovationen. In: Interavia. Herausgegeben von Interavia S.A. Heft 4/1985, April 1985. S. 353-355.

Condom, Pierre (1987): Das Cockpit kommender Verkehrsflugzeuge. In: Interavia. Herausgegeben von Interavia S.A. Heft 10/1987, Oktober 1987. S. 1089-1092.

Flume, Wolfgang (1991): Ins Glas geschaut: Moderne Cockpit-Displays erhöhen Übersichtlichkeit. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 5, Mai 1991. S. 66-70.

Franke, Klaus (1994): Luftfahrt: Schwarze Serie am Himmel. In: Der Spiegel. Herausgegeben von Spiegel-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG. Nr. 33, 15.08.1994. S. 160-164.

Gaines, Mike (1990): Analysis: An Inevitable Incident. In: Flight International. Herausgegeben von Reed Business Publishing Ltd. Volume 137, Number 4214, 2-8 May 1990. S. 20-21.

Gopal, P. (2000): Analysis of factors leading to pilot error accidents in civil aviation. In: Indian Journal of Aerospace Medicine. Herausgegeben von Indian Society of Aerospace Medicine. Volume 44, Issue 1, 2000. S. 34-38.

Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1984a): Pionierzeit der Fliegerei – Vom Vogelflug zur Fliegekunst. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Herausgegeben von Marshall Cavendish International Ltd. Band 3, Heft 37. S. 1014-1020.

Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1984b): Die Frühgeschichte des Motorflugs – Flugtage und Rennen. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Herausgegeben von Marshall Cavendish International Ltd. Band 3, Heft 45. S. 1239-1244.

Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1985): Computer-Cockpit – Elektronik steuert Airbus. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Herausgegeben von Marshall Cavendish International Ltd. Band 9, Heft 123. S. 3422-3428.

Günther, Rüdiger (Hrsg.) (1986): Chronologie der Luftfahrt. In: AERO – Das illustrierte Sammelwerk der Luftfahrt. Herausgegeben von Marshall Cavendish International Ltd. Band 9, Heft 133. S. 3702-3708.

Hach, Johann-Peter; Peter H. Heldt (1984): Das Cockpit des Airbus A 310. In: Spektrum der Wissenschaft. Herausgegeben von Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH & Co. Heft März 3/1984. S. 38-52.

Hauger, Michael (1991): Ferndiagnose beugt Überraschungen vor: Datenübertragung hilft, Überholungen zu planen. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 12, Dezember 1991. S. 84-86.

Hauger, Michael (1992): Wie sicher sind die Computer des Airbus A320? In: P.M. Herausgegeben von Gruner + Jahr AG & Co. Heft 7/1992. S. 6-12.

Hemker, Heinrich; Volker K. Thomalla (1991): Quadrophonie: Beim neuen Airbus A340 steckt der Fortschritt im Detail. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 10, Oktober 1991. S. 18-21.

Hillebrand, Helga L. (1986): Europäischer Vorstoß – Die A320 steht kurz vor dem Erstflug. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 12, Dezember 1986. S. 46-49.

Hillebrand, Helga L. (1987): Leben im Zeitraffer – Sicherheit: Dynamische Ermüdungsversuche für A320. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 7, Juli 1987. S. 86-89.

Hillebrand, Helga L. (1988): Europäische Zulassung für A320 – Sicherheit: Kleiner Airbus hat bestanden. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 4, April 1988. S. 90-91.

Hillebrand, Helga L. (1989a): Drei vom selben Stamm. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 7, Juli 1989. S. 90-94.

Hillebrand, Helga L. (1989b): Vorsicht Sender – Elektronik: Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 12, Dezember 1989. S. 86-89.

Hopkins, Harry (1987): The state of the art – Flight-Test Airbus A320. In: Flight International. Herausgegeben von Reed Business Publishing Ltd. Volume 132, Number 4092, Week ending 12 December 1987. S. 23-27.

Lambert, Mark (1988): A320 mit elektrischer Flugsteuerung – Vor der Musterzulassung. In: Interavia. Herausgegeben von Interavia S.A. Heft 1/1988, Januar 1988. S. 71-74.

Learmount, David (1990): After Habsheim. In: Flight International. Herausgegeben von Reed Business Publishing Ltd. Volume 137, Number 4211, 11-17 April 1990. S. 32-35.

Learmount, David (Hrsg.) (2001): Bilbao accident prompts Airbus control software modification. In: Flight International. Herausgegeben von Reed Business Information. Volume 159, Number 4785, 19-25 June 2001. S. 29.

Lenorovitz, Jeffrey M. (1988): A320 Crash Investigation Centers On Crew's Judgment During Flyby. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 129, No. 1, July 4, 1988. S. 28-29.

Lenorovitz, Jeffrey M. (1990): Indian A320 Crash Probe Data Show Crew Improperly Configured Aircraft. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 132, No. 26, June 25, 1990. S. 84-85.

Lenorovitz, Jeffrey M. (1992a): A320 Crash in France: French Investigators Seek Cause of Rapid Descent. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 136, No. 4, January 27, 1992. S. 32-33.

Lenorovitz, Jeffrey M. (1992b): Confusion Over Flight Mode May Have Role in A320 Crash. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 136, No. 5, February 3, 1992. S. 29-30.

Lenorovitz, Jeffrey M. (1992c): French Government Seeks A320 Changes Following Air Inter Crash Report. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von McGraw-Hill, Inc. Volume 136, No. 9, March 2, 1992. S. 30-31.

Müller, Klaus (1985): Nesthäkchen in rauhem Wind: Der Airbus A320 mausert sich. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 10, Oktober 1985. S. 8-14.

Müller, Klaus (1988): Protokoll eines Absturzes – Luftverkehr: Die Technik des Airbus A320 war bis zuletzt in Takt. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 8, August 1988. S. 22-23.

Penner, Hellmut (1984): Familienzuwachs: Airbus A320-Programmstart. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 5, Mai 1984. S. 66-70.

Penner, Hellmut (1985): Kein-Mann-Cockpit: Ersetzen Flugregler die Piloten? In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 11, November 1985. S. 74-77.

Pietsch, Paul (Hrsg.) (2010): Boeing baut unbemannten Versuchsträger – Phantom Ray vorgestellt. In: Flug Revue. Herausgegeben von Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG. Nr. 7/2010, Juli 2010. S. 16.

Pletschacher, Peter (1988): Ein A320 stürzt ab: Hat der Pilot versagt, oder ist die Technik noch nicht sicher genug? In: P.M. Herausgegeben von Gruner + Jahr AG & Co. Heft 9/1988. S. 8-9.

Puyplat, Didier (1991): A320: First of the computer-age aircraft. In: Aerospace America. Herausgegeben von American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Volume 29, No. 5, May 1991. S. 28-30.

Ropelewski, Robert (1994): Airbus A321 and A330: different but alike. In: Interavia. Herausgegeben von Air and Cosmos SA. Volume 49, Heft January 1994. S. 51-54.

Seidel, J. (Hrsg.) (1991): Boeing 247 – Pionier der modernen Luftfahrt. In: Aeroplane – Take-Off in die Welt des Fliegens. Herausgegeben von IPV Inland Presse Vertrieb GmbH. Band 10, Heft 117. S. 3260-3265.

Sparaco, Pierre (1993): Former employee charged in Air Inter A320 crash. In: Aviation Week & Space Technology. Herausgegeben von: McGraw-Hill, Inc. Volume 138, No. 4, Heft January 25, 1993. S. 56.

Spröte, Ingrid (Hrsg.) (1989a): Die Comet-Story Teil 1: Mit Düsenantrieb in eine neue Ära. In: Aeroplane – Take Off in die Welt des Fliegens. Herausgegeben von IPV Inland Presse Vertrieb GmbH. Band 2, Heft 20. S. 548-553.

Spröte, Ingrid (Hrsg.) (1989b): Die Comet-Story Teil 2: Ende eines Traums. In: Aeroplane – Take Off in die Welt des Fliegens. Herausgegeben von IPV Inland Presse Vertrieb GmbH. Band 2, Heft 21. S. 574-579.

Steinke, Sebastian (2004): Im Cockpit der A380 – Neue Perspektiven für Airbuspiloten. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 01/04, Januar 2004. S. 88-89.

Steinke, Sebastian (2005): Boeing stellt 787-Cockpit vor – Viel Glas und Doppel-HUD. In: Flug Revue. Herausgegeben von Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG. Nr. 11/2005, November 2005. S. 34-35.

Stix, Gary (1991): Computer-Piloten. In: Spektrum der Wissenschaft. Herausgegeben von Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Heft September 9/1991. S. 68-80.

Sutton, Oliver; Bertrand Bonneau (1989): Airbus A320's first year in service. In: Interavia. Herausgegeben von Interavia SA. Volume 44, Heft 7/1989. S. 678-682.

Thomalla, Volker K. (1990): Indian will Airbus verkaufen. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 7, Juli 1990. S. 63-64.

Thomalla, Volker K. (1991): A320 fliegt wieder in Indien. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 1, Januar 1991. S. 34.

Thomalla, Volker K. (1992): Warum gab Airbus-Crew falsche Sinkrate ein? A320-Unfall: Offene Fragen nach Abschluß der Untersuchung. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 5, Mai 1992. S. 36-37.

van Beveren, Tim (2001a): Cross-wired controls almost bring down Lufthansa A320. In: Flight International. Herausgegeben von Reed Business Information Ltd. Volume 159, Number 4781, 22-28 May 2001. S. 14.

Ziegler, Roland (1982): Triumph der Elektronik – Revolution in der Luft- und Raumfahrt. In: Flug Revue. Herausgegeben von Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. Nr. 9, September 1982. S. 8-15.

Weitere Internetquellen

Blau, Wolfgang (Hrsg.) (1994): „Wir sind nicht zum Fliegen geboren“ – Interview mit Bernard Ziegler, dem Technikvorstand von Airbus. In: ZEIT ONLINE (Die Zeit 21.10.1994 Nr. 43).

Unter: <http://www.zeit.de/1994/43/Wir-sind-nicht-zum-Fliegen-geboren>

Curtis, Todd (Hrsg.) (2010): Fatal Plane Crash Rates for Selected Airliner Models. Unter: http://www.airsafe.com/events/models/rate_mod.htm

Gröning, Marco (1997): Selected Appendices from the Airbus A320-211 Warsaw Accident Report. Unter: <http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Incidents/DOCS/ComAndRep/Warsaw/appendices.html>

Hildebrand, Jan (2008): Der Pilot wird im Cockpit langsam überflüssig. In: WELT ONLINE (27.05.08). Unter: http://www.welt.de/wirtschaft/article2039149/Der_Pilot_wird_im_Cockpit_langsam_ueberfluessig.html

Ladkin, Peter B. (1996): Report on the Accident to Airbus A320-211 Aircraft in Warsaw on 14 September 1993. Unter: <http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Incidents/DOCS/ComAndRep/Warsaw/warsaw-report.html>

Mellor, Peter (1990): The A320's attacks of nerves (Translation of article by Bertrand Bonneau). Unter: <http://catless.ncl.ac.uk/Risks/10.02.html>

Mellor, Peter (1993): Report on visit to Airbus Industrie – 28-29th Jan. 1993. Unter: <http://www.kls2.com/cgi-bin/arcfetch?db=sci.aeronautics.airliners&id=%3Cairliners.1993.180@ohare.chicago.com%3E>

Mellor, Peter (2002): A320 crash at Habsheim. Unter: <http://www.cs.york.ac.uk/hise/safety-critical-archive/2002/0466.html>

Roger, Christian (1998): The Airbus A320 crash at Habsheim, France 26 June 1988 – Why and how the flight recorder tapes were forged. Unter:

<http://www.crashdehabsheim.net/CRenglish%20phot.pdf>

Rozelle, Roger (Hrsg.) (1994): Cockpit Coordination, Training Issues Pivotal in Fatal Approach-to-Landing Accident. In: Accident Prevention. Herausgegeben von: Flight Safety Foundation Inc. Vol. 51, No. 1, January 1994.

Unter: http://www.flightsafety.org/ap/ap_jan94.pdf

Traufetter, Gerald (2010): Beinahe-Crash in Hamburg – Ermittler werfen Airbus mangelhafte Piloten-Information vor. In: SPIEGEL ONLINE (04. März 2010, 13:24 Uhr).

Unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,681655,00.html>

van Beveren, Tim (2001b): Accident Spurs Action to Give Pilots More Control Authority of Computerized Aircraft.

Unter: <http://www.timvanbeveren.de/ARCHIV/ENGLISH/moreauthorityfor.html>

Walter, Dennis (2008): DO-178B Software considerations in airborne systems and equipment certification.

Unter: http://www.informatik.uni-bremen.de/~dw/files/do178b_de.pdf

Glossar

Klußmann, Niels; Arnim Malik (2007): Lexikon der Luftfahrt. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Sparenberg, Bernd (2005): Lexikon der zivilen Luftfahrt. München: GeraMond Verlag.