

Untersuchungsbericht

AX001-1-2/02
Mai 2004

Identifikation

Art des Ereignisses: Unfall
Datum: 01. Juli 2002
Ort: nahe Überlingen/Bodensee
Luftfahrzeuge: Verkehrsflugzeuge
Hersteller/Muster: 1. Boeing B757-200
2. Tupolew TU154M
Personenschaden: 71 Tote
Sachschaden: beide Luftfahrzeuge zerstört
Drittsschaden: Flur- und Forstschaden
Informationsquelle: Untersuchung durch BFU

Untersuchungsbericht

AX001-1-2/02
Mai 2004

Identifikation

Art des Ereignisses: Unfall
Datum: 01. Juli 2002
Ort: nahe Überlingen/Bodensee
Luftfahrzeuge: Verkehrsflugzeuge
Hersteller/Muster: 1. Boeing B757-200
2. Tupolew TU154M
Personenschaden: 71 Tote
Sachschaden: beide Luftfahrzeuge zerstört
Drittsschaden: Flur- und Forstschaden
Informationsquelle: Untersuchung durch BFU

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit dem Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz - FIUUG) vom 26. August 1998 durchgeführt.

Danach ist das alleinige Ziel der Untersuchung die Verhütung künftiger Unfälle und Störungen. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens, der Haftung oder von Ansprüchen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen, Begriffe und Erläuterungen.....	3
Kurzdarstellung	6
1. Sachverhalt.....	7
1.1 Ereignisse und Flugverlauf	7
1.1.1 Boeing B757-200	7
1.1.2 Tupolew TU154M	8
1.2 Personenschaden	10
1.3 Schäden an den Luftfahrzeugen	10
1.4 Drittschaden	10
1.5 Angaben zu Personen	11
1.5.1 Boeing B757-200	11
1.5.2 Tupolew TU154M	12
1.5.3 Flugverkehrsleiter bei ACC Zürich	14
1.6 Angaben zu den Luftfahrzeugen	15
1.6.1 Boeing B757-200	15
1.6.2 Tupolew TU154M	15
1.7 Meteorologische Informationen	16
1.8 Navigationshilfen	16
1.8.1 Boeing B757-200	17
1.8.2 Tupolew TU154M	17
1.9 Funk-/ Telefonverkehr	17
1.9.1 Funkverkehr zwischen ACC Zürich und den Flugzeugen	17
1.9.2 Telefonverkehr zwischen ACC Zürich und benachbarten FS-Kontrolldiensten	18
1.10 Angaben zum Flugplatz	18
1.11 Flugdatenaufzeichnungen	18
1.11.1 Boeing B757-200	18
1.11.2 Tupolew TU154M	19
1.11.3 Weiteres Vorgehen	19
1.12 Unfallstellen und Feststellungen an den Luftfahrzeugen	20
1.12.1 Boeing B757-200	20
1.12.2 Tupolew TU154M	26
1.13 Medizinische und pathologische Angaben	35
1.14 Brand	35
1.15 Überlebensaspekte	35
1.16 Versuche und Forschungsergebnisse	35
1.16.1 Untersuchung am Radarsystem des ACC Zürich	35
1.16.2 ACAS/TCAS II Analyse durch Eurocontrol	35
1.17 Organisationen und deren Verfahren	36
1.17.1 Flugsicherung Zürich	36
1.17.2 Luftfahrtunternehmen der B757-200	43
1.17.3 Luftfahrtunternehmen der TU154M	44
1.18 Zusätzliche Informationen	44

1.18.1	Das Flugsicherungsunternehmen der Schweiz.....	44
1.18.2	Flugsicherung Karlsruhe.....	45
1.18.3	Flugsicherung München.....	45
1.18.4	ACAS/TCAS.....	46
1.18.5	Ausweichregeln.....	67
1.19	Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken	68
2.	Beurteilung	69
2.1	Allgemeines	69
2.2	Flugbetrieb.....	69
2.2.1	Boeing B757-200	69
2.2.2	Tupolew TU154M.....	70
2.2.3	Vermeidung von Kollisionen nach dem Prinzip „Sehen und Ausweichen“	73
2.3	Luftfahrzeuge	75
2.3.1	Boeing B757-200 und Tupolew TU154M	75
2.4	Flugsicherung	76
2.4.1	Flugsicherung Zürich	76
2.4.2	Flugsicherung Karlsruhe.....	78
2.5	ACAS/TCAS	78
2.6	Menschliche Faktoren	83
2.6.1	ACC Zürich	83
2.6.2	Boeing B757-200	96
2.6.3	Tupolew TU154M.....	102
2.7	Zusammenfassende Beurteilung	109
3.	Schlussfolgerungen.....	113
3.1	Befunde.....	113
3.2	Ursachen.....	117
4.	Sicherheitsempfehlungen	118
5.	Anlagen	122

Abkürzungen, Begriffe und Erläuterungen

ACAS	Airborne Collision Avoidance System	siehe TCAS
ACC	Area Control Center	Bezirkskontrollstelle der Flugsicherung
ACSS		Herstellerefirma u.a. für TCAS-Ausrüstungen
Altitude		Flughöhe über NN
AIP	Aeronautical Information Publication	Offizielles nationales Luftfahrthandbuch
AOM	Aircraft Operating Manual	Luftfahrzeug-Betriebshandbuch
AP	Autopilot	Autopilot; automatische Flugregelungs- und Steueranlage
Approach		Anflug; bei TCAS auch Annäherung von Luftfahrzeugen
APU	Auxiliary Power Unit	Hilfsturbine
ARFA-Sektor		Anflugsektor für St. Gallen-Altenrhein und Friedrichshafen
ATC	Air Traffic Control	Flugverkehrskontrolle
ATCO ATCo	Air Traffic Control Officer, Air Traffic Controller	Flugverkehrsleiter; Fluglotse; Radarlotse; Lotse
ATM	Air Traffic Management	Organisation und Durchführung des Flugverkehrskontrolldienstes
ATMM	Air Traffic Management Manual	Handbuch für die Organisation und Durchführung des Flugverkehrskontrolldienstes in einem bestimmten Bereich
ATPL	Air Transport Pilot's Licence	Verkehrsluftfahrzeugführerschein
ATS	Air Traffic Services	Flugsicherungsdienste
CA	Controller Assistent	Assistent in der Flugverkehrskontrolle
CIR	Common IFR Room	Kontrollraum der Flugverkehrskontrolle
Climb		Steigflug
CoC	Center of Competence	Kompetenzzentrum beim Schweizer Flugsicherungsunternehmen
CPA	Closest Point of Approach	Vom TCAS errechneter Punkt der größten Annäherung von Luftfahrzeugen
Crew		Besatzung; in diesem Bericht Flugbesatzung
CRM	Crew Resource Management (früher: Cockpit Resource Management)	Musterunabhängiges Strategie- und Verhaltenskonzept zur optimalen Nutzung aller im Luftfahrzeug verfügbaren Ressourcen.
CVR	Cockpit-Voice-Recorder	Aufzeichnungsgerät für Gespräche im Cockpit.
Descent		Sinkflug
DL		Dienstleiter; Wachleiter (bei der Flugsicherung)
ENG	Engine	Triebwerk
Enroute		auf der Strecke
EPR	Engine Pressure Ratio	Triebwerk-Druckverhältnis. Einheit für die Leistung.
Eurocontrol	European Organization for the Safety of Air Navigation	Zivile europäische Flugsicherungsorganisation
FAA	Federal Aviation Administration	Luftfahrtbehörde der USA
FDR	Flight-Data-Recorder	Flugdatenschreiber
FL	Flight Level	Flughöhe. Fläche konstanten Luftdrucks über einen Druckwert von 1013 hPa (Flughöhe in ft mal 100)
FMS	Flight Management System	System an Bord eines LFZ mit dessen Hilfe Navigations-, Flug- und Flugleistungsdaten gespeichert und berechnet werden und mit Hilfe der Autopiloten den Flugverlauf automatisch steuert.
FO	First Officer	Copilot, 1. Offizier; zweiter Luftfahrzeugführer;
FPL	Flight Plan	Flugsicherungs-Flugplan

ft	feet	Fuß (1 Fuß = 0,3048 m)
ft/min	feet per minute	Fuß pro Minute; Maßeinheit für Steig- und Sinkgeschwindigkeit
GPS	Global Positioning System	Satellitengestütztes Navigationssystem
GPWS	Ground Proximity Warning System	Sicherheitssystem an Bord eines Luftfahrzeuges, das vor Annäherung an den Boden warnt und Anweisungen generiert.
Height		Höhe über Grund
hPa	Hektopascal	Maßeinheit des Luftdrucks
IAC	Interstate Aviation Committee	Zwischenstaatliches Komitee der Luftfahrt innerhalb der GUS.
ICAO	International Civil Aviation Organization	Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
ICWS	Integrated Controller Workstation	Arbeitsplatz des Flugverkehrsleiters einschl. der Monitore
IFR	Instrument Flight Rules	Instrumentenflugregeln
ILS	Instrument Landing System	Instrumentenlandessystem
INS	Inertial Navigation System	Trägheitsnavigationseinrichtung in Flugzeugen
Intruder		Eindringling, anderes Flugzeug (TCAS)
JAA	Joint Aviation Authority	Europäische Luftfahrtbehörde
kt	knot	Knoten (1 kt=1,852 km/h)
LBA	Luftfahrt-Bundesamt	Deutsche Bundesoberbehörde für die Luftfahrt
LoA	Letter of Agreement	Schriftliche Vereinbarung
MCC	Multi Crew Cooperation	Arbeitskonzept in Form standardisierter Arbeitsabläufe um im Cockpit eine optimale Zusammenarbeit innerhalb der Crew zu organisieren.
MEL	Minimum Equipment List	Mindestausrüstungsliste in Luftfahrzeugen
MH	Magnetic Heading	Missweisender Steuerkurs; Winkel zwischen der Flugzeuglängsachse und dem magnetischen Nordpol.
MSL	Mean Sea Level	Meereshöhe (Normalnull)
N₁		Drehzahl der Niederdruckturbine des Triebwerks in %
NM	Nautical Mile	Nautische Meile oder Seemeile (1NM = 1,852 km)
NN	Normalnull	Meereshöhe
OM	Operations Manual	Betriebshandbuch
P/N	Partnumber	Teilenummer
PF	Pilot Flying	Pilot, der das Luftfahrzeug steuert
PIC	Pilot in Command	Verantwortlicher Luftfahrzeugführer, Kommandant, Kapitän
PNF	Pilot non Flying	Pilot, der den PF unterstützt
RA	Resolution Advisory	TCAS-Ausweichkommando
Range		Entfernung
RE	Radar Executive	Radarlotse, der die Verkehrskontrolle aktiv ausübt
Reversal		Umkehrung (eines bisherigen TCAS – Kommandos)
RNAV	Area Navigation	Flächennavigation
RP	Radar Planning	Radarlotse in planender Funktion
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Verfahren mit auf 1000 Fuß reduziertem vertikalen Abstand der Luftfahrzeuge oberhalb FL 290
S/N	Serialnumber	Seriennummer
SOP	Standard Operating Procedure	Standard-Betriebsverfahren
STCA	Short Term Conflict Alert	Warnt den Fluglotsen vor Luftfahrzeugannäherungen.
TA	Traffic Advisory	TCAS-Verkehrsinformation
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Bodenunabhängiges Zusammenstoßwarnsystem in Flugzeugen

Transponder		Sekundärradarantwortgerät in Luftfahrzeugen
TRM	Team Resource Management	Strategie- und Verhaltenskonzept zur optimalen Nutzung aller (im Kontrollraum der Flugsicherung) verfügbaren Ressourcen.
UAC	Upper Area Control	Bezirkskontrollstelle der Flugsicherung für den oberen Luftraum (in der Regel über FL 245)
V/S	Vertical Speed	Vertikale Geschwindigkeit (in ft/min oder m/ s)
Violation		Verstoß gegen Vorschriften oder Anweisungen
VOR	Very High Frequency Omni directional Radio Range	UKW Drehfunkfeuer (am Boden)
VSI	Vertical Speed Indicator	Variometer; Anzeigegerät im Cockpit für die Sink- bzw. Steiggeschwindigkeit.
VSI/TRA	Vertical Speed Indicator/Traffic Resolution Advisory Display	Variometer mit integrierter TCAS-Anzeige

Die Luftfahrt in der heutigen Form ist von Fachbegriffen in englischer Sprache geprägt, für die teilweise keine oder nur sehr „unglückliche“ deutsche Begriffe existieren. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden in diesem Bericht einige Fachbegriffe und Originaltexte in englischer Sprache verwendet, um den Bericht klarer und eindeutiger formulieren zu können.

Einige Begriffe, deren korrekte Version nach den entsprechenden Vorschriften umständlich erschien, wurden durch gängige Begriffe ersetzt.

Beispiele:

Crew anstelle von Flugbesatzung

Lotse anstelle von Flugverkehrsleiter

Kurzdarstellung

Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) wurde am 01.07.2002 um 21:50 Uhr¹ (entspricht 23:50 Uhr Ortszeit) telefonisch von einem Zeugen, der sich unter freiem Himmel in Überlingen befand und durch Knallgeräusche auf den Unfall aufmerksam geworden war, von dem Zusammenstoß zweier Verkehrsflugzeuge informiert.

Sofort nachdem sich die Meldung bestätigt hatte, wurde die Untersuchung durch die Bundesstelle eingeleitet. In den Morgenstunden des 02.07.02 trafen sechs Mitarbeiter der BFU an der Unfallstelle ein. Da sich beide Flugzeuge zum Zeitpunkt der Kollision unter der Kontrolle von ACC Zürich befanden, flogen zwei weitere Mitarbeiter der BFU sofort nach Zürich, um in Zusammenarbeit mit dem Büro für Flugunfalluntersuchungen der Schweiz die notwendigen Untersuchungen aufzunehmen.

Die Untersuchung wurde nach den internationalen Standards und empfohlenen Praktiken des Annex 13 der ICAO und dem Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz (FIUUG) durch die BFU verantwortlich durchgeführt. In die Untersuchung waren die Staaten Königreich von Bahrain, Russische Föderation, Confoederatio Helvetica (Schweiz) und die Vereinigten Staaten von Amerika durch bevollmächtigte Vertreter und ihre Berater eingebunden.

In der ersten Phase der Untersuchung arbeitete das Untersuchungsteam gleichzeitig in einer Zentrale auf dem Flughafen Friedrichshafen, beim ACC Zürich, an den verschiedenen Unfallstellen im Bereich um die Stadt Überlingen und in der BFU in Braunschweig.

Am 1. Juli 2002 um 21:35:32 Uhr kam es nördlich der Stadt Überlingen/Bodensee zu einem Zusammenstoß einer Tupolew TU154M, die sich auf dem Flug von Moskau/Russland nach Barcelona/Spainien befand, mit einer Boeing B757-200, die von Bergamo/Italien nach Brüssel/Belgien flog. Beide Flugzeuge flogen nach Instrumentenflugregeln und wurden von ACC Zürich geführt. Nach der Kollision stürzten beide Flugzeuge in ein Gebiet nördlich der Stadt Überlingen. An Bord beider Flugzeuge befanden sich insgesamt 71 Menschen, von denen niemand überlebte.

Der Unfall ist auf folgende unmittelbare Ursachen zurückzuführen:

- Die drohende Staffelungsunterschreitung wurde durch die Flugsicherungskontrollstelle nicht rechtzeitig bemerkt. Die Anweisung zum Sinkflug an die TU154M erfolgte zu einem Zeitpunkt, als die vorgeschriebene Staffelung zur B757-200 nicht mehr gewährleistet werden konnte.
- Die Crew der TU154M folgte der Anweisung der Flugverkehrskontrollstelle zum Sinkflug und befolgte sie auch weiter als TCAS sie zum Steigflug aufforderte. Damit wurde ein zur TCAS-RA entgegengesetztes Manöver durchgeführt.

Der Unfall ist auf folgende „systemische“ (systemic) Ursachen zurückzuführen:

- Die Integration von ACAS/TCAS II in das System Luftfahrt war unzureichend und entsprach nicht in allen Punkten der Systemphilosophie. Das für ACAS/TCAS II von der ICAO veröffentlichte Regelwerk und in der Folge damit auch die Regelungen der nationalen Luftfahrtbehörden sowie die Betriebs- und Verfahrensanweisungen des TCAS-Herstellers und der Luftfahrtunternehmen waren nicht einheitlich, lückenhaft und teilweise in sich widersprüchlich.
- Die Führung und das Qualitätsmanagement des Flugsicherungsunternehmens gewährleistete keine permanente Besetzung der geöffneten Arbeitspositionen mit Flugverkehrsleitern im Nachtdienst.
- Die Führung und das Qualitätsmanagement des Flugsicherungsunternehmens duldete seit Jahren, dass zu verkehrsarmen Zeiten in der Nacht nur ein Lotse arbeitete, während sich der ebenfalls zur Schicht gehörende zweite Lotse zur Ruhe begab.

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

1. Sachverhalt

1.1 Ereignisse und Flugverlauf

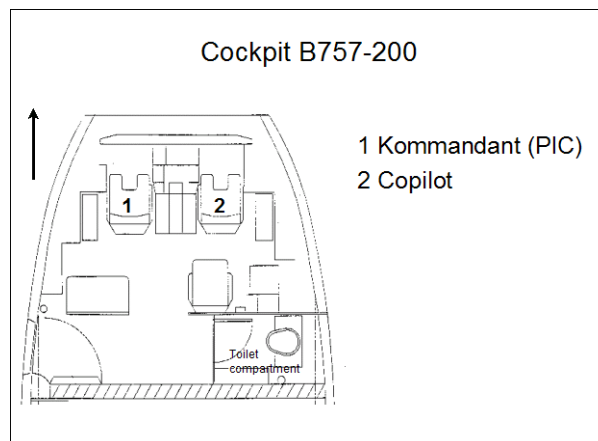
Am 1. Juli 2002 um 21:35:32 Uhr kam es bei dunkler Nacht und Flugsicht von 10 km und mehr in der Nähe der Stadt Überlingen am Bodensee zu einem Zusammenstoß einer Tupolew TU154M, die sich auf dem Flug von Moskau-Domododovo/Russland nach Barcelona/Spanien befand, mit einer Boeing B757-200, die von Bergamo/Italien nach Brüssel/Belgien flog. Beide Flugzeuge stürzten in ein Gebiet nördlich der Stadt Überlingen.

Eine größere Anzahl von Zeugen wurde auf den Unfall durch explosionsartige Geräusche, länger anhaltendes „Grollen und Dröhnen“ sowie Feuerschein aufmerksam. Viele von ihnen sahen auch herunterfallende Teile, die bereits in der Luft brannten.

Die Rekonstruktion der Flugverläufe erfolgte auf der Basis der Auswertung der an Bord befindlichen Flugdatenschreiber (FDR), der Cockpit-Voice-Recorder (CVR), der in den Flugzeugen gespeicherten TCAS-Daten, des am Boden aufgezeichneten Funkverkehrs zwischen der Schweizer Flugverkehrskontrollstelle (ACC Zürich) und den Crews der Tupolew TU154M und der Boeing B757-200 und der von der schweizerischen Flugsicherung aufgezeichneten Boden-Radardaten.

1.1.1 Boeing B757-200

Beide Piloten, der Kommandant (PIC) und der Copilot, flogen den gesamten Monat Juni 2002 als Crew zusammen und dabei mehrmals die Strecke Bahrain - Bergamo - Brüssel - Bahrain. Der letzte Flug vor diesem Umlauf fand am 28. Juni 2002 auf der Flugstrecke von Brüssel nach Bahrain statt. Vor Antritt dieses Fluges hatte die Crew 75 Stunden dienstfrei. Sie trat ihren Dienst um 11:50 Uhr in Bahrain an.



Das Flugzeug startete um 13:30 Uhr auf dem Flughafen Bahrain (OBBI) zu einem Frachtflug nach Brüssel (EBBR) mit einer Zwischenlandung in Bergamo (LIME). An Bord befanden sich nur die beiden Piloten. Die Landung in Bergamo erfolgte nach einer Flugzeit von 5:40 Stunden um 19:10 Uhr. In Bergamo wurde das Flugzeug betankt und ein Frachtaustausch durchgeführt.

Der Start zum Weiterflug nach Brüssel erfolgte um 21:06 Uhr. Der Copilot steuerte das Flugzeug (PF). Der Flug wurde nach Instrumentenflugregeln (IFR) durchgeführt.

Der Flugplan (FPL) enthielt u.a. folgende, für den Flug relevante Angaben:

Startflughafen: LIME, geplante Startzeit: 21:00 Uhr, Reisefluggeschwindigkeit: 463 kt, Reiseflughöhe: FL 360, Strecke: ABESI-UN851-TGO-UL608-LAMGO-UZ738-ANEKI-UZ917-BATTY, Landflughafen: EBBR, geplante Flugzeit: 1:11 Stunden, Ausweichflughafen: EDDK (Köln).

Um 21:21:50 Uhr meldete sich der PIC auf der Frequenz 128.050 MHz bei ACC Zürich in einer Höhe von FL 260 und einem Direktanflug auf den Wegpunkt ABESI. Um 21:21:56 Uhr wurde der Transpondercode 7524 zugewiesen. Mit der Identifizierung des Flugzeuges erfolgte eine Freigabe zum direkten Anflug des Drehfunkfeuers TANGO VOR sowie zum Steigen von FL 260 auf FL 320. Der PIC bat auf FL 360 steigen zu dürfen, was ihm knapp vier Minuten spä-

ter um 21:26:36 Uhr genehmigt wurde. Um 21:29:50 Uhr erreichte das Flugzeug diese Flughöhe, ohne sie zu melden.

Um 21:34:30 Uhr übergab der Copilot dem PIC die Steuerung des Flugzeuges, um die Toilette, die sich in einer abgeschlossenen Zelle im hinteren Teil des Cockpits befand, aufzusuchen. Der PIC bestätigte um 21:34:31 Uhr die Übernahme.

Um 21:34:42 Uhr warnte das bordseitige TCAS mit einer Traffic Advisory (TA) „traffic, traffic“ die Crew vor möglichem Konfliktverkehr. Nach der TA wurden auf dem CVR klickende Geräusche festgehalten. 14 Sekunden später (21:34:56 Uhr) erhielt die Crew vom TCAS eine Resolution Advisory (RA) „descent, descent“.

Ca. zwei Sekunden später war der Autopilot (AP) ausgeschaltet, die Steuersäule gedrückt und die Leistung der Triebwerke reduziert. Anhand des FDR konnte eine Verringerung der Längsneigung des Flugzeuges von 2,5° auf ca. 1,5° sowie eine Reduzierung der vertikalen Beschleunigung von ca. 1.0 g auf 0.9 g festgestellt werden.

Gemäß FDR und TCAS-Aufzeichnung hatte das Flugzeug 12 Sekunden nach dem Abschalten des Autopiloten eine vertikale Sinkgeschwindigkeit von 1500 ft/min erreicht.

Um 21:35:05 Uhr zeichnete der CVR über das Mikrofon im Cockpit (Cockpit Area Microphone) die Bemerkung des Copiloten auf „Dort rechts ist der Verkehr“ („traffic right there“), was durch den PIC mit „Ja“ bestätigt wurde.

Um 21:35:10 Uhr, also 14 Sekunden nach der RA „descent, descent“, forderte das TCAS zum verstärkten Sinken („increase descent, increase descent“) auf.

Zu diesem Zeitpunkt hatte der Copilot seinen Arbeitsplatz wieder eingenommen und den Kopfhörer aufgesetzt. Von ihm wurde eine Reaktion auf die RA in Form der Bemerkung „increase“ aufgezeichnet. Nach dieser RA wurde die Sinkrate erhöht und erreichte 10 Sekunden später eine Sinkgeschwindigkeit von ca. 2600 ft/min. Dabei veränderte sich die Längsneigung des Flugzeuges auf -1° und die Triebwerksleistung wurde auf ca. 1,2 (EPR) reduziert.

Der CVR zeichnete um 21:35:14 Uhr ein akustisches Alarmsignal (Master Caution Aural Warning) für ca. zwei Sekunden auf.

Gemäß FDR wurde die automatische Schubsteuerung der Triebwerke (Autothrottle) um 21:35:18 Uhr durch die Crew abgeschaltet.

Um 21:35:19 Uhr meldete die Crew an ACC Zürich „TCAS descent“. In der Folge forderte der Copilot seinen PIC zweimal zum Sinken auf. Einmal mit dem Wort „descent“ (21:35:26 Uhr) und dann mit „descent hard“ (21:35:30 Uhr).

Ca. 2 Sekunden vor dem Zusammenstoß wurde die Steuersäule bis zum Anschlag nach vorn bewegt.

Um 21:35:32 Uhr kam es auf einem nördlichen Kurs des Flugzeuges (MH = 004°) in einer Flughöhe von 34 890 Fuß (ft) bei einer negativen Längsneigung von ca. 2° ohne Querneigung zum Zusammenstoß mit der TU154M.

1.1.2 Tupolew TU154M

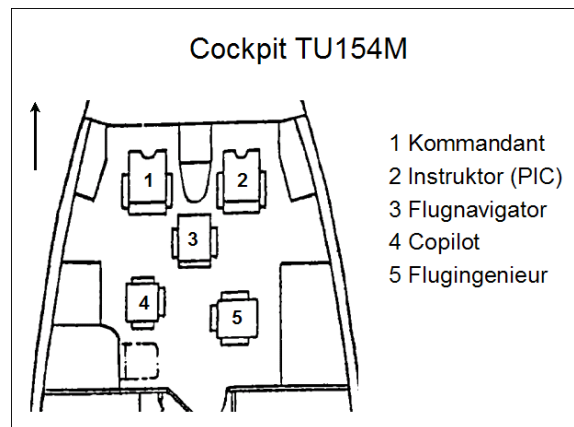
Vor dem Start zum Charterflug nach Barcelona (LEBL) hatte die Crew 24 Stunden dienstfrei. Sie trat ihren Dienst gegen 17:30 Uhr an. Um 18:48 Uhr startete das Flugzeug auf dem Flughafen Moskau-Domodedovo (UDD). An Bord befanden sich 9 Besatzungsmitglieder und 60 Passagiere. Der Flug wurde nach Instrumentenflugregeln (IFR) entsprechend dem aufgegebenen Flugplan (FPL) durchgeführt.

Der FPL enthielt u.a. folgende, für den Flug relevante Angaben:

Startflughafen: UDD, geplante Startzeit: 18:30 Uhr, Reisefluggeschwindigkeit: 880 km/h, Reiseflughöhe: 10 600 m, Strecke: KLIMOVSK-KAMENKA-ZAKHAROVKA-R11-YUKHNOV-B102-BAEVO/Reisefluggeschwindigkeit: 470 kt, Reiseflughöhe: FL 360, Strecke: UL979-MATUS-UM984-BOLMU-UT43-STOCKERAU-UR23-SALZBURG-UL856-TRASADINGEN-Z69-OLBEN-UN869-OLRAK-UN855-PERPIGNAN-UB384-GIRONA-UB38-SABADELL, Landflughafen: LEBL, geplante Flugzeit: 4:20 Stunden, Ausweichflughafen: LEGE (Girona).

Im Cockpit befanden sich fünf Flugbesatzungsmitglieder. Der Kommandant (unter Aufsicht) - der auf diesem Flug auch der PF (Pilot flying) war - nahm den linken Sitz im Cockpit ein. Auf dem rechten Sitz saß ein „Instruktor“, der als PNF (Pilot non flying) auch den Funkverkehr durchführte. Er war auch der verantwortliche Flugzeugführer (PIC). Zwischen den beiden Flugzeugführern befand sich, etwas zurückgesetzt, der Flugnavigator. Hinter dem Instruktor war der

Arbeitsplatz des Flugingenieurs. Ein weiterer Flugzeugführer (Copilot) - bei diesem Flug ohne Funktion - saß hinter dem Kommandant auf einem freien Platz.



Um 21:11:55 Uhr - in der Nähe von Salzburg, noch über österreichischem Hoheitsgebiet - erhielt die Crew von Wien Radar die Erlaubnis zum direkten Anflug des Drehfunkfeuers (VOR) Trasadingen in FL 360. Um 21:16:10 Uhr flog das Flugzeug in den deutschen Luftraum ein und wurde von München Radar geführt. Um 21:29:54 Uhr wurde die Crew von München angewiesen, zu ACC Zürich auf 128.050 MHz zu wechseln. Um 21:30:11 Uhr meldete sich der PNF mit der Flughöhe FL 360 bei ACC Zürich. Um 21:30:33 Uhr bekam das Flugzeug vom ACC Zürich den Transpondercode 7520 zugewiesen, der sechs Sekunden später bestätigt wurde.

In der Zeit von ca. 21:33:00 Uhr bis 21:34:41 Uhr zeichnete der CVR Gespräche der Crew auf, die sich mit einem von links kommenden Flugzeug beschäftigten, das auf dem zum TCAS-System gehörenden Variometer (VSI/ TRA) dargestellt worden war. An den Gesprächen beteiligten sich bis auf den Flugingenieur alle Flugbesatzungsmitglieder. Der Aufzeichnung der Gespräche auf dem CVR ist zu entnehmen, dass sie bemüht waren, das andere Flugzeug hinsichtlich seiner Position und Flughöhe einzuordnen. Um 21:34:36 Uhr äußerte der Kommandant: „Hier ist er mit Sicht“, und zwei Sekunden später: „Hier, es zeigt Null an“.

In der Zeit von 21:34:25 Uhr bis 21:34:55 Uhr drehte das Flugzeug mit einer Querneigung von ca. 10° von einem missweisenden Steuerkurs (MH) 254° auf 264°.

Um 21:34:42 Uhr generierte TCAS eine TA („traffic, traffic“). Der CVR hielt fest, dass sowohl der Instruktor als auch der Copilot „traffic, traffic“ ausriefen.

Um 21:34:49 Uhr - also sieben Sekunden später - wies ACC Zürich die Crew an, zügig auf FL 350 zu sinken und wies dabei auf Konfliktverkehr hin („... descend flight level 350, expedite, I have crossing traffic“). Noch während der Lotse die Anweisung aussprach - der Funkspruch dauerte knapp acht Sekunden - forderte der Instruktor den PF zum Sinkflug auf. Um 21:34:56 Uhr wurde die Steuersäule gedrückt, der Autopilot (Kanal für die Längsneigung) schaltete sich ab und die Leistung der Triebwerke wurde auf ca. 72 % (N1) reduziert. Anhand des FDR konnte eine Veränderung der Längsneigung des Flugzeuges von 0° auf ca. -2,5° sowie eine Reduzierung der vertikalen Beschleunigung von ca. 1 g (normale Erdbeschleunigung in der Nähe des Flugzeugschwerpunktes) auf 0,8 g festgestellt werden.

Die Anweisung zum Sinkflug wurde von der Crew verbal nicht bestätigt. Zur selben Zeit (21:34:56 Uhr) generierte TCAS eine RA („climb, climb“). Um 21:34:59 Uhr war auf dem CVR die Stimme des Copiloten mit der Bemerkung zu hören: „Es (TCAS) sagt (говорит) „steigen“. Darauf antwortete der PNF: „Er (ATC) fordert uns zum Sinken auf!“. Daraufhin der Copilot fragend: „Zum Sinken?“.

Um 21:35:02 Uhr (6 Sekunden nach dem Erhalt der RA „climb, climb“) wurde die Steuersäule durch den PF gezogen. Als Folge davon vergrößerte sich die Sinkgeschwindigkeit nicht mehr. Die vertikale Beschleunigung veränderte sich von 0,75 g auf 1,07 g. Im Zusammenhang mit dieser Steuereingabe wurde die Leistung der Triebwerke nicht verändert. (siehe Anlage 5a)

Um 21:35:03 Uhr wurden die Leistungshebel der Triebwerke weiter zurück gezogen.

Die Diskussion innerhalb der Crew wurde um 21:35:03 Uhr durch den Lotsen mit der erneuten Anweisung, zügig auf eine Flughöhe von FL 350 zu sinken („... descend level 350, expedite descend“) unterbrochen. Sie wurde durch den PNF sofort bestätigt. Daraufhin informierte der Lotse, dass sich anderer Flugverkehr in der „2-Uhr-Position“ in FL 360 befände („Ja,... we have

traffic at your 2 o'clock position now at 3-6-0") und der rechts sitzende Flugzeugführer fragte: „Wo ist es?“, und der Copilot antwortete: „Hier, auf der linken Seite!“. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Sinkgeschwindigkeit des Flugzeuges ca. 1 500 ft/min.

Während der letzten Anweisung des Lotsen war auf dem CVR die Stimme des Flugnavigators mit der Bemerkung: „Es wird unter uns durchfliegen!“, zu hören.

Um 21:35:04 Uhr wurde der Kanal für die Querneigung des Autopiloten abgeschaltet.

Um 21:35:05 Uhr drückte der PF erneut die Steuersäule und die Sinkrate vergrößerte sich auf über 2 000 ft/min.

In der Zeit von 21:35:07 Uhr bis 21:35:24 Uhr erfolgte eine Kursänderung nach rechts von 264° auf 274° MH. Um 21:35:24 Uhr generierte TCAS eine RA „increase climb“. Der Copilot kommentierte diese Aufforderung mit den Worten: „Steigen, sagte es!“ („climb“ он говорит).

Zum Zeitpunkt der RA „increase climb“ zeigt der FDR eine langsame Bewegung der Steuersäule in Richtung Sinken, was zu einer Veränderung des Längsneigungswinkel von -1° auf ca. -2° und zu einer Verringerung der vertikalen Beschleunigung führte. Die Sinkrate war ca. 1800 ft/min (siehe Anlage 5b).

Fünf Sekunden vor dem Zusammenstoß wurde begonnen an der Steuersäule zu ziehen, einhergehend mit einer leichten Veränderung der Stellung der Leistungshebel der Triebwerke nach vorn.

Zwei Sekunden vor dem Zusammenstoß erreichte der Längsneigungswinkel -1° und die vertikale Beschleunigung 1,1 g.

In der letzten Sekunde vor dem Zusammenstoß wurde die Steuersäule ruckartig gezogen und die Leistungshebel der Triebwerke voll nach vorn geschoben.

Zum Zeitpunkt des Zusammenstoßes war der Längsneigungswinkel 0° , die vertikale Beschleunigung 1,4 g, aber das Flugzeug befand sich noch im Sinkflug.

Das Flugzeug kollidierte mit einem Kurs von 274° und einer rechten Querlage von 10° um 21:35:32 Uhr in einer Flughöhe von 34890 Fuß mit der Boeing B757-200.

Nach der Kollision rollte die TU154M mit einer ansteigenden Rate um die Längsachse nach links. Gleichzeitig mit dieser Rollbewegung wurde ein Ausfahren des Querruderspoilers am rechten Tragflügel registriert. Der Längsneigungswinkel änderte sich innerhalb von ca. zwei Sekunden von 0° auf -6° und der Kabinendruck sank innerhalb einer Sekunde nach der Kollision von $0,6 \text{ kg/cm}^2$ auf einen Wert nahe 0 kg/cm^2 .

Anmerkung: Der zeitliche Geschehensablauf in beiden Cockpits ist in der Anlage 2 dargestellt.

1.2 Personenschaden

Flugzeug	Verletzte	Besatzung	Fluggäste	Gesamt	Andere
B757-200	tödlich	2		2	
TU154M	tödlich	9	60	69	
	Gesamt	11	60	71	

1.3 Schäden an den Luftfahrzeugen

Beide Flugzeuge wurden durch den Unfall zerstört. Die Boeing B757-200 verlor durch den Zusammenstoß einen Großteil ihres Seitenleitwerks und wurde beim Aufprall auf den Boden zerstört; die Tupolew TU154M zerbrach noch in der Luft in mehrere Teile.

1.4 Drittschaden

An den verschiedenen Aufprallstellen entstanden Flur- und Forstschäden.

1.5 Angaben zu Personen

1.5.1 Boeing B757-200

Kommandant (PIC)

- Alter: 47 Jahre alt, männlich,
 - Erlaubnisse: ATPL, USA, erteilt am 25. September 1991
Anerkennung durch The Kingdom of Bahrain am 20. April 2002, gültig bis 31. Juli 2002
 - Berechtigungen: Boeing 757 am 26. Mai 1997 erteilt und Boeing 767, SA-227
Instrumentenflugberechtigung
Berechtigung als PIC erteilt am 11. Oktober 1991
Flugbetrieb nach Betriebsstufe II (CAT II)
Fluglehrer für Boeing 757
Befähigungsüberprüfung (proficiency check) auf dem Flugsimulator am 25. Juni 2002
Streckenflugüberprüfung als PIC (line check) am 16. Mai 2001
 - Flugstunden: Gesamtflugzeit: 11 942 Stunden
Gesamtflugzeit als PIC: 6 655 Stunden
Gesamtflugzeit auf Boeing 757: 4 145 Stunden
Flugzeit der letzten 24 Stunden: 7 Stunden
Flugzeit der letzten 30 Tage: 88 Stunden
Flugzeit der letzten 90 Tage: 233 Stunden
Flugzeit der letzten 12 Monate: 851 Stunden
 - Dienstzeit,
letzte 24 Stunden: 10 Stunden
 - Dienstoffrei
vor Flugantritt: 75 Stunden
 - Tauglichkeit: Klasse 1; muss Sehhilfe tragen und Ersatzbrille mit sich führen
- Besonderheiten: TCAS-Ausbildung am 19. November 2001

Copilot

- Alter: 34 Jahre alt, männlich
 - Erlaubnisse: ATPL, USA, erteilt am 22. März 2002
Anerkennung durch The Kingdom of Bahrain am 09. Juni 2002, gültig bis 30. Juni 2004
 - Berechtigungen: Boeing 757 am 22. März 02 erteilt
Instrumentenflugberechtigung
Flugbetrieb nach Betriebsstufe II (CAT II)
Befähigungsüberprüfung (proficiency check) auf dem Flugsimulator am 13. April 2002
 - Flugstunden: Gesamtflugzeit: 6 604 Stunden
Gesamtflugzeit auf Boeing 757: 176 Stunden
Flugzeit der letzten 24 Stunden: 7 Stunden
Flugzeit der letzten 30 Tage: 88 Stunden
Flugzeit der letzten 90 Tage: 176 Stunden
Flugzeit der letzten 12 Monate: 531 Stunden
 - Dienstzeit
letzte 24 Stunden: 10 Stunden
 - Dienstoffrei
vor Flugantritt: 75 Stunden
 - Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen
- Besonderheiten: TCAS-Ausbildung am 15. April 2002

ICAO Human Factors Digest No. 2 – ‚Flight Crew Training: Cockpit Ressource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT)‘ enthält Richtlinien zu den Grundlagen von CRM und der bevorzugten Ausbildungsmethode – LOFT. Einige Monate vor dem Unfall hatte das Unternehmen ein neues CRM-Schulungsprogramm in sein Betriebshandbuch (OM) Teil D

(Ausbildung) aufgenommen, und dieses Programm enthielt die Richtlinien und Ziele des ICAO HF Digest No. 2.

Bei der Durchführung ihrer unterschiedlichen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen absolvierten beide Piloten regelmäßig LOFT-Übungen.

1.5.2 Tupolew TU154M

Kommandant (unter Aufsicht)

- Alter: 52 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Verkehrsflugzeugführer 1. Klasse der Russischen Föderation, erteilt am 16. November 1993, gültig bis 16. November 2002
- Berechtigungen: Tupolew TU154M
Instrumentenflugberechtigung
Berechtigung als PIC
Flugbetrieb nach Betriebsstufe II (CAT II), am 25. Mai 2001 erteilt
Berechtigung zum Flugbetrieb im Ausland am 12. April 1991 erteilt
Streckenflugüberprüfung als PIC (line check) am 13. Juni 2002
- Flugstunden: Gesamtflugzeit: 12 070 Stunden
Gesamtflugzeit auf TU154: 4 918 Stunden
Gesamtflugzeit als PIC auf TU154: 2 050 Stunden
Flugzeit der letzten 24 Stunden: 3 Stunden
Flugzeit der letzten 30 Tage: 8 Stunden
Flugzeit der letzten 90 Tage: 81 Stunden
Flugzeit der letzten 12 Monate: 292 Stunden
- Dienstzeit
letzte 24 Stunden: 4 Stunden
- Dienstoffrei
vor Flugantritt: 24 Stunden
- Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen

Besonderheiten: TCAS-Ausbildung am 14. November 2000

Nach den der BFU vom Luftfahrtunternehmen zur Verfügung gestellten Unterlagen (Flugauftrag) war der links sitzende Pilot der Kommandant (PIC). Nach den der BFU vom Luftfahrtministerium zur Verfügung gestellten Unterlagen (Anweisung zur Flugdurchführung) war der rechts sitzende Instruktor der verantwortliche Flugzeugführer (PIC).

Nach den Festlegungen des Luftfahrtunternehmens war der Flughafen Barcelona in die Kategorie - Flughafen mit bergigem Terrain - eingeordnet. Jeder Flugzeugführer, der diesen Flughafen anflieg, musste mindestens zwei Flüge mit einem „Instruktor“ durchführen. Für den Kommandanten (unter Aufsicht) war es der zweite Flug nach Barcelona. Er saß im Cockpit vorn links, während der Instruktor rechts saß. Nach Auffassung der BFU war der Instruktor der verantwortliche Flugzeugführer (PIC).

Instruktor (PIC)

- Alter: 40 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Verkehrsflugzeugführer 1. Klasse der Russischen Föderation, erteilt am 6. März 1997, gültig bis 22. Oktober 2002
- Berechtigungen: Tupolew TU154M
Instrumentenflugberechtigung
Berechtigung als PIC
Fluglehrberechtigung am 8. Juli 2001 erteilt
Flugbetrieb nach Betriebsstufe II (CAT II) am 20. November 2001 erteilt
Berechtigung zum Flugbetrieb im Ausland am 8. Juni 1999 erteilt
Streckenflugüberprüfung als PIC (line check) 11. März 2002
- Flugstunden: Gesamtflugzeit: 8 500 Stunden
Gesamtflugzeit auf TU 154: 4 317 Stunden
Gesamtflugzeit als PIC auf TU 154: 2 025 Stunden
Flugzeit der letzten 24 Stunden: 3 Stunden
Flugzeit der letzten 30 Tage: 55 Stunden

Flugzeit der letzten 90 Tage: 104 Stunden
 Flugzeit der letzten 12 Monate: 484 Stunden

- Dienstzeit
 letzte 24 Stunden: 4 Stunden
- Dienstoffrei
 vor Flugantritt: 24 Stunden
- Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen

Besonderheiten: TCAS - Ausbildung am 22. Dezember 2000

Copilot

- Alter: 41 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Verkehrsflugzeugführer 1. Klasse der Russischen Föderation, erteilt am 28. November 2000, gültig bis 20. Februar 2003
- Berechtigungen: Tupolew TU154M
 Instrumentenflugberechtigung
 Flugbetrieb nach Betriebsstufe II (CAT II), am 24. April 2001 erteilt
 Berechtigung zum Flugbetrieb im Ausland am 10. März 1994 erteilt
 Streckenflugüberprüfung (line check) am 13. Juni 2002
- Flugstunden: Gesamtflugzeit: 7 884 Stunden
 Gesamtflugzeit auf TU154: 4 181 Stunden
 Flugzeit der letzten 24 Stunden: 3 Stunden
 Flugzeit der letzten 30 Tage: 8 Stunden
 Flugzeit der letzten 90 Tage: 69 Stunden
 Flugzeit der letzten 12 Monate: 218 Stunden
- Dienstzeit
 letzte 24 Stunden: 4 Stunden
- Dienstoffrei
 vor Flugantritt: 24 Stunden
- Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen

Besonderheiten: TCAS-Ausbildung am 18. Oktober 2000

Der Copilot saß links hinter dem Kommandanten und hatte im Cockpit keine offizielle Funktion.

Flugnavigator

- Alter: 51 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Navigator 1. Klasse der Russischen Föderation, erteilt am 22. Juni 1996, gültig bis 1. März 2003
- Berechtigungen: Tupolew TU154M
 Berechtigung zum Flugbetrieb im Ausland am 12. August 1996 erteilt
 Überprüfung als Navigator am 13. Juni 2002
- Flugstunden: Gesamtflugzeit: 12 978 Stunden
 Gesamtflugzeit auf TU154: 6 421 Stunden
 Flugzeit der letzten 24 Stunden: 3 Stunden
 Flugzeit der letzten 30 Tage: 8 Stunden
 Flugzeit der letzten 90 Tage: 77 Stunden
 Flugzeit der letzten 12 Monate: 280 Stunden
- Dienstzeit
 letzte 24 Stunden: 4 Stunden
- Dienstoffrei
 vor Flugantritt: 24 Stunden
- Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen

Besonderheiten: TCAS - Ausbildung am 9. Januar 2001

Flugingenieur

- Alter: 37 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Flugingenieur 1. Klasse der Russischen Föderation, erteilt am 20. Juli 2000, gültig bis 6. Dezember 2002
- Berechtigungen: Tupolew TU154M
Berechtigung zum Flugbetrieb im Ausland, am 25. April 1997 erteilt
Überprüfung als Flugingenieur am 14. Juni 2002
- Flugstunden:

Gesamtflugzeit:	4 191 Stunden
Gesamtflugzeit auf TU154:	4 191 Stunden
Flugzeit der letzten 24 Stunden:	3 Stunden
Flugzeit der letzten 30 Tage:	8 Stunden
Flugzeit der letzten 90 Tage:	81 Stunden
Flugzeit der letzten 12 Monate:	297 Stunden
- Dienstzeit
letzte 24 Stunden: 4 Stunden
- Dienstoffrei
vor Flugantritt: 24 Stunden
- Tauglichkeit: Klasse 1; ohne Einschränkungen

In der Russischen Föderation wird dem fliegenden Personal aufgrund seiner fliegerischen Qualifikation und Erfahrung eine Leistungsklasse verliehen. Es gibt vier Leistungsklassen, wobei die Klasse 4 die unterste und die Klasse 1 die höchste ist. Alle Besatzungsmitglieder der TU154M waren im Besitz der höchsten Leistungsklasse.

ICAO Human Factors Digest No. 2 – „Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT)“ enthält Richtlinien zu den Grundlagen von CRM und der bevorzugten Ausbildungsmethode – LOFT. Ein Ausbildungsprogramm auf der Grundlage eines FAA-Kurses und unter Einbeziehung der Richtlinien und Ziele des ICAO Human Factors Digest No. 2 wurde erarbeitet.

Keines der Besatzungsmitglieder der TU154M hatte im Simulator ein LOFT-Programm als Teil der Aus- und Fortbildung absolviert.

1.5.3 Flugverkehrsleiter bei ACC Zürich

- Alter: 35 Jahre alt, männlich
- Erlaubnisse: Flugverkehrsleiter (ATCO - Air Traffic Control Officer) der Schweiz, gültig bis 7. März 2003.
- Berechtigungen: Anflugverkehrsleitung für St. Gallen/Friedrichshafen, gültig bis 7.3.03
Bezirksverkehrsleitung Zürich ACC, gültig bis 7. März 2003
Anflug-Radarverkehrsleitung für St. Gallen/ Friedrichshafen, gültig bis 7. März 2003.
- Dienstoffrei vor
Dienstbeginn: 22 Stunden
- Dienstzeit
vor dem Ereignis: 3:32 Stunden
- Tauglichkeit: Medizinische Tauglichkeit Klasse 1/ FVL (Flugverkehrsleiter)

Der Flugverkehrsleiter hatte seine Ausbildung im Januar 1991 in Kopenhagen /Dänemark begonnen und sie 1994 mit dem Erwerb der Lizenz als Air-traffic-Controller abgeschlossen. Er arbeitete bis 1995 beim ACC Kopenhagen und wechselte dann zum ACC Zürich, wo er im Februar 1996 die notwendigen Erlaubnisse und Berechtigungen erwarb und seitdem dort ohne größere Unterbrechungen tätig war.

Im Mai 2001 kam es im Verantwortungsbereich des Flugverkehrsleiters zu einer Staffelungsunterschreitung. Das Vorkommnis wurde durch die BFU Schweiz untersucht.

1.6 Angaben zu den Luftfahrzeugen

1.6.1 Boeing B757-200

Die Boeing B 757-200 ist ein zweistrahliges Verkehrsflugzeug. Die Triebwerke leisten einen Schub von je 178 kN. Das Flugzeug war als Frachtflugzeug zugelassen. Es war im Königreich Bahrain zum Verkehr zugelassen und hatte ein gültiges Lufttüchtigkeitszeugnis.

Das Flugzeug war für die Betriebsstufe II (CAT II), für B-RNAV und für RVSM-Flüge zugelassen.

• Hersteller:	Boeing Company, Seattle/USA
• Muster:	B757-200 (757-23APF)
• Baujahr:	1990
• Werknummer:	24 635
• Höchstmasse:	115 892 kg
• Masse zum Unfallzeitpunkt:	ca. 91 000 kg
• Triebwerkhersteller:	Rolls-Royce
• Triebwerkmuster:	RB211-535E4-37
• Kraftstoffart:	Jet A1
• Kraftstoffvorrat beim Unfall:	ca. 13 500 l (errechnet)
• letzte technische Kontrolle:	1 A-Check am 14. April 2002
• Gesamtbetriebszeit:	39 022 Stunden

Das Flugzeug verfügte neben den als Dauerlicht ausgeführten Positionslichtern an den Tragflügelenden und am Rumpfheck über weiße Blitzlichter („Strobelights“), die an den Randbögen der Tragflügel und als rote Blitzlichter auf der Ober- bzw. Unterseite des Rumpfes angebracht waren.

Angaben über die Ausrüstung des Flugzeuges finden sich in Kapitel 1.8. (Navigationshilfen) und 1.18.4 (ACAS/TCAS).

1.6.2 Tupolew TU154M

Bei dem Flugzeug Tupolew TU154M handelt es sich um ein dreistrahliges Mittelstrecken-Verkehrsflugzeug. Die Triebwerke leisten je 104 kN.

Das Flugzeug war mit 166 Passagiersitzen ausgestattet. Es war in der Russischen Föderation zum Verkehr zugelassen und hatte ein bis zum 11. Oktober 2002 gültiges Lufttüchtigkeitszeugnis.

Das Flugzeug war durch die russischen Behörden für ICAO-CAT II-Anflüge, für R-NAV und für RVSM-Flüge zugelassen.

• Hersteller:	Tupolew PSC Moskau/Russland
• Muster:	TU154M
• Baujahr:	1995
• Werknummer:	95A1006
• Höchstmasse:	100 000 kg
• Triebwerkhersteller:	Soloviev
• Triebwerkmuster:	DK-30U-154
• Kraftstoffart:	Jet A1
• Kraftstoffvorrat beim Unfall:	ca. 22 800 kg
• letzte technische Kontrollen:	F-2 Check am 28.6.02
• Gesamtbetriebszeit:	10 788 Std.

Das Flugzeug verfügte neben den als Dauerlicht ausgeführten Positionslichtern an den Tragflügelenden und am Rumpfheck über zwei auf dem Höhenleitwerk bzw. unter dem Rumpf eingebaute rote Zusammenstoßwarnlichter.

Angaben über die Ausrüstung des Flugzeuges finden sich in Kapitel 1.8. (Navigationshilfen) und 1.18.4 (TCAS).

1.7 Meteorologische Informationen

Zur Abklärung der meteorologischen Verhältnisse wurde ein Wettergutachten beim Deutschen Wetterdienst (DWD) in Auftrag gegeben. Die folgenden Angaben sind diesem Gutachten entnommen.

Wetterlage

Am 1. Juli 2002 lag das Gebiet um die Unfallstelle auf der Vorderseite einer sich ostwärts verlagernden Kaltfront, die sich von einem Tiefdruckgebiet mit dem Kern über dem Norden Großbritanniens von der Nordsee über Deutschland und Frankreich hinweg bis zur Biskaya erstreckte. Während am Abend im Südosten Deutschlands noch gebietsweise aufgelockerte bis durchbrochene Bewölkung vorhanden war, trat im Zusammenhang mit der Kaltfront in der Mitte und in der Osthälfte Deutschlands verbreitet leichter bis mäßiger Regen auf, der stellenweise schauerartig verstärkt war. In der Nacht bildete sich auf der Vorderseite der Kaltfront eine Konvergenzlinie aus, deren Wetteraktivität im relevanten Bereich jedoch sehr gering war.

Wetterbedingungen am Boden

Unterhalb einer bodennahen Temperaturinversion herrschte im Gebiet der Unfallstelle eine schwache, vorherrschend südwestliche bis westliche Luftströmung mit 2 bis 5 Knoten (kt). Die horizontale Sichtweite am Boden lag zwischen 10 und 30 km. Die Lufttemperatur am Boden betrug 19 bis 20 °C.

Wetterbedingungen in der Höhe

Oberhalb der bodennahen Inversion nahm die Windgeschwindigkeit kontinuierlich zu.

Wind:	FL 050:	240 bis 260°	20 bis 30 kt
	FL 100:	230 bis 250°	30 bis 40 kt
	FL 240:	230 bis 250°	30 bis 40 kt
	FL 360:	200 bis 230°	35 bis 45 kt

Temperatur:	FL 360:	- 50 ° bis -52 ° Celsius
-------------	---------	--------------------------

0°-Grenze: 10 000 bis 11 000 ft über NN

Wolken: mehrschichtig vorhandene Wolkenschichten; Obergrenze im Bereich des Bodensees zwischen FL 250 und FL 280.

Das Gutachten geht davon aus, dass beide Flugzeuge oberhalb vorhandener Wolken flogen und die Sicht in dieser Höhe 10 km und mehr betrug.

Astronomische Daten

Das Amt für Wehrgeophysik der Bundeswehr lieferte dem DWD folgende astronomische Daten: Der Mond befand sich in abnehmender Phase unterhalb des Horizonts und war zum Unfallzeitpunkt noch nicht aufgegangen.

Beobachtungen anderer Flugbesatzungen

Zu den meteorologischen Bedingungen liegen die Aussagen von fünf Besatzungen anderer Flugzeuge vor, die sich zum Unfallzeitpunkt in der Nähe des Unfallortes befanden. Sie machten zusammengefasst folgende Aussagen:

- Die Sterne waren gut zu erkennen; Mondschein war nicht auszumachen
- Die Flugsicht war gut, Bodensicht war nicht vorhanden
- Wolkenschichten mit einer Obergrenze in FL 200 waren vorhanden

1.8 Navigationshilfen

Navigationshilfen am Boden waren nicht betroffen.

Die Flüge der B757-200 und der TU154M erfolgten im RVSM-Luftraum (**R**educed **V**ertical **S**eparation **M**inimum) auf RNAV - Routen.

Die hierfür erforderliche Ausrüstung wurde in den Flugplänen beider Flüge mit R und W angegeben.

1.8.1 Boeing B757-200

Das Flugzeug war u.a. ausgerüstet mit:

- zwei VOR-DME
- drei IRS
- zwei FMS

Die vorgenannten Navigationsgeräte liefern Daten an das FMS, das auf den Autopiloten aufgeschaltet werden kann.

1.8.2 Tupolew TU154M

Das Flugzeug war u.a. ausgerüstet mit:

- zwei VOR-DME
- Kurskreiselssystem
- Doppler-Navigationssystem
- GPS (nicht im System integriert)

Mit Ausnahme des GPS liefern die vorgenannten Navigationsgeräte Daten an den analogen Navigationsrechner, der auf den Autopiloten aufgeschaltet werden kann.

1.9 Funk-/ Telefonverkehr

1.9.1 Funkverkehr zwischen ACC Zürich und den Flugzeugen

Der Funkverkehr zwischen ACC Zürich und der B757-200 bzw. der TU154M erfolgte auf der Frequenz 128.050 MHz in englischer Sprache. Er konnte von allen Flugbesatzungen mitgehört werden, sofern sie zum entsprechenden Zeitpunkt diese Frequenz gerastet hatten.

Die Crew der B757-200 konnte den gesamten Funkverkehr zwischen der Crew der TU154M und ACC Zürich mithören, weil sie sich zum Zeitpunkt des ersten Funkkontaktes der TU154M schon auf der Frequenz 128.050 MHz befand. Umgekehrt konnte die Crew der TU154M von der B757-200 nichts hören, weil nach ihrem ersten Funkkontakt mit ACC Zürich um 21:30:11 Uhr kein Funkverkehr zwischen der B757-200 und ACC Zürich stattfand. In der Zeit kurz vor dem Zusammenstoß waren die beiden Flugzeuge die einzigen, die auf dieser Frequenz von ACC Zürich geführt wurden.

Zusätzlich hatte der Lotse von ACC Zürich noch einen verspäteten Anflug eines Airbus A320 auf Friedrichshafen auf der Frequenz 119.920 MHz zu betreuen. Der Arbeitsplatz für diesen Anflug befand sich neben dem Arbeitsplatz, an dem er die B757-200 und die TU154M zu führen hatte und war durch Rollen mit dem Arbeitsstuhl erreichbar.

Die Flugzeuge auf den Frequenzen (128.050 MHz und 119.920 MHz) konnten sich gegenseitig nicht hören, sodass es teilweise zu gleichzeitigen Sendungen kam, auf die dann mehrfach erst beim wiederholten Anruf oder gar nicht reagiert wurde.

Die vier Frequenzen der oberen Sektoren waren über die „Coupling Function“ am Arbeitsplatz RP (Radar Planning) zusammen geschaltet. Mit der Kopplung von Frequenzen wird sichergestellt, dass die Benutzer der zusammen geschalteten Frequenzen sich gegenseitig hören können. Es sollten jedoch nicht mehr als vier Frequenzen gekoppelt werden, da es sonst zu Empfangsübersteuerungen kommen kann.

Die Frequenz für den Anflug auf Friedrichshafen, 119.920 MHz, war auf den Arbeitsplatz RE (Radar Executive) geschaltet. Der Funkverkehr erfolgte an allen Arbeitsplätzen über Standmikrofon und Lautsprecher.

Sämtlicher Funksprechverkehr wurde aufgezeichnet und lag der BFU in Kopie und in Form einer Umschrift zur Auswertung vor.

Auf den CVR beider Flugzeuge und bei ACC Zürich waren um 21:35:38 und 21:35:44 Uhr kurzzeitige Tonsignale aufgezeichnet worden, die Ähnlichkeiten mit Morsesignalen hatten. Die Untersuchungen des Flugsicherungsunternehmens konnten die Herkunft der Signale nicht einwandfrei klären. Es wird angenommen, dass die Signale von einem der beiden Flugzeuge stammen.

Anmerkung: *Wesentlichen Passagen des Funkverkehrs finden sich in den Anlagen 2 und 3.*

1.9.2 Telefonverkehr zwischen ACC Zürich und benachbarten FS-Kontrolldiensten

Für die Verbindung mit den benachbarten Flugsicherungskontrollzentren bzw. -diensten standen dem ACC Zürich zwei Telefonsysteme zur Verfügung: das ATS-Telephon-System Switch 02 (SWI-02) und das Bypass-System.

Das SWI-02 bestand aus zwei parallelen Systemen A und B, die gleichzeitig oder voneinander unabhängig betrieben werden konnten. Die Verbindungen zu den benachbarten Flugsicherungskontrollzentren erfolgten über fest angemietete Standleitungen. Als redundantes System stand das Bypass-Telefonsystem zur Verfügung. Das Bypass-System ist ein analoges System, das über Wahlverbindungen das öffentliche Telefonnetz nutzt. Die jeweiligen Einwahlnummern sind vorprogrammiert. Es gab keine Möglichkeit, Anrufe, die über die Standleitungen ankamen, auf das Bypass-System umzuleiten.

Für die Neueinteilung der Sektoren (siehe Kapitel 1.17.1) war es erforderlich, einige Telefonverbindungen neu zu schalten. Aus diesem Grund stand ab 21:23 Uhr, nach Zustimmung des Lotsen, nur noch das Bypass-System zur Verfügung. Ab 21:34:37 Uhr war das System SWI-02 technisch wieder einsatzbereit. Eine Freigabe an den Lotsen erfolgte nicht. Die einseitige Abschaltung der Haupttelefonverbindung wurde nicht, wie im ATMM ZC (ATM-Manual Zurich) Band 2 festgelegt, mit den benachbarten Flugsicherungsstellen koordiniert.

Im oben genannten Zeitraum trat im Bypass-System ein technischer Fehler auf. Infolge dieses Fehlers konnte der Lotse bei sieben Versuchen, die dokumentiert wurden und ihn zeitlich bänden, keine Verbindung mit Friedrichshafen herstellen.

In der Zeit von 21:34:44 Uhr bis zum Zusammenstoß wurden im System SWI-02 drei Anrufe vom UAC Karlsruhe und ein Anruf von Friedrichshafen registriert, die aber durch den Lotsen nicht entgegengenommen wurden.

1.10 Angaben zum Flugplatz

Nicht betroffen

1.11 Flugdatenaufzeichnungen

Die Flight-Data-Recorder (FDR) und Cockpit-Voice-Recorder (CVR) beider Flugzeuge wurden am ersten Tag der Untersuchung geborgen und durch Mitarbeiter der BFU nach Braunschweig transportiert. Dabei stellte sich heraus, dass der FDR der TU154M ein an Bord mitgeführtes Ersatzgerät war, das nicht angeschlossen gewesen war. Die erforderliche Nachsuche nach dem in Betrieb befindlichen Gerät war schnell erfolgreich.

Alle Geräte wurden im Flugschreiberlabor der BFU in Braunschweig ausgelesen.

1.11.1 Boeing B757-200

Flight-Data-Recorder:

Hersteller:	AlliedSignal (Sundstrand)
Modell:	UFDR
P/N:	980-4100-DXUS
S/N:	8060

Es handelte sich um einen achtspurigen Magnetbandrecorder, auf dem 335 Parameter aufgezeichnet wurden.

Nach der Kollision lieferte der FDR noch für eine Sekunde verwertbare Daten und zeichnete noch für einen Zeitraum von weiteren acht Sekunden Daten auf, die allerdings wegen Beschädigung des Bandes nicht mehr auswertbar waren.

Cockpit-Voice-Recorder:

Hersteller:	L-3com (Loral/Fairchild)
Modell:	A100A
P/N:	93-A100-80
S/N:	54743

Der CVR der B757-200 war ein vierspurig aufzeichnendes, analog arbeitendes Bandgerät, auf dem die letzten 30 Minuten des Unfallfluges aufgezeichnet wurden. Nach dem Zusammenstoß zeichnete der CVR noch neun Sekunden auf.

Die genannten Geräte einschließlich der Bänder waren durch den Unfall stark beschädigt und konnten erst nach umfangreichen Reparaturen ausgelesen werden.

1.11.2 Tupolew TU154M

Flight-Data-Recorder:

Modell: MSRP 64-2
S/N: 7945

Es handelte sich um einen 28-spurigen Magnetbandrecorder, auf dem 107 Parameter aufgezeichnet wurden. Er befand sich in einem ausgezeichneten, fast unbeschädigten Zustand und das Auslesen gestaltete sich problemlos. Nach der Kollision zeichnete der FDR noch für einen Zeitraum von 3,5 Sekunden auswertbare Daten auf.

Cockpit-Voice-Recorder:

Modell: MARS-BM
S/N: 8886

Der CVR der TU154M war ein vierspurig aufzeichnendes, analog arbeitendes Bandgerät, auf dem die letzten 30 Minuten des Unfallfluges aufgezeichnet wurden. Nach dem Zusammenstoß zeichnete der CVR noch 1:55 Minuten auf.

Das Gerät einschließlich des Bandes waren durch den Unfall stark beschädigt und das Auslesen konnte erst nach umfangreichen Reparaturarbeiten erfolgen.

1.11.3 Weiteres Vorgehen

Am fünften Untersuchungstag waren alle Recorder ausgelesen und die Daten für die weitere Auswertung gesichert. In einer ersten Auswertung wurden die bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Tatsachen über den Unfallhergang bestätigt. Das Untersuchungsteam in Friedrichshafen wurde detailliert über die Ergebnisse informiert.

Die Auswertung der FDR beider Flugzeuge erfolgte vornehmlich im Rahmen der Untersuchungen der Arbeitsgruppe „Operations“ und findet sich in den entsprechenden Kapiteln dieses Untersuchungsberichtes wieder.

Das Auslesen des CVR der Boeing B757-200 erfolgte durch Mitarbeiter des Flugschreiberlabors der BFU in Zusammenarbeit mit einem Kommandanten auf B757-200, der zum Team des Königreiches Bahrain gehörte. Die Umschrift, die von allen Beteiligten anerkannt wurde, dokumentiert die letzten 30 Minuten des Fluges.

Das Auslesen des CVR der Tupolew TU154M erfolgte durch Mitarbeiter des Flugschreiberlabors der BFU und durch Spezialisten des Teams der Russischen Föderation. Dabei wurden sowohl die Stimmen den jeweiligen Personen zugeordnet als auch die russisch gesprochenen Worte ins Englische übersetzt. Die Aufzeichnung wurde in einer Umschrift dokumentiert, die durch einen russisch als Muttersprache sprechenden Mitarbeiter des LBA nachvollzogen und verifiziert wurde. Das Ergebnis war auch hier eine von allen Beteiligten anerkannte Umschrift der letzten sieben Minuten des Fluges.

Die Auswertung der CVR beider Flugzeuge erfolgte im Rahmen der Untersuchung der Arbeitsgruppe „Operations“. Die Arbeitsgruppe „Menschliche Faktoren“, betrachtete die gesamten 30 Minuten, die auf dem CVR aufgezeichnet waren.

Die Auswertung der FDR beider Flugzeuge findet sich in den Untersuchungen der Arbeitsgruppe „Operations“ und anderer Arbeitsgruppen, die sich mit dem Flugverlauf auseinandersetzen wieder.

Anmerkung:

Die jeweils letzte Minute des Fluges beider Flugzeuge mit ausgewählten Parametern des FDR liegt als Anlage 4 und 5 diesem Bericht bei.

1.12 Unfallstellen und Feststellungen an den Luftfahrzeugen

Die Wrackteile beider Flugzeuge waren nördlich des Bodensees in einem relativ gering besiedelten Gebiet aufgeprallt. Sie verteilten sich auf sieben Fundstellen mit großen sowie auf viele Stellen mit kleineren Wrackteilen (siehe Anlage 8) auf einer Gesamtfläche von ca. 350 km².

Für die notwendigen Untersuchungen an den Unfallstellen, für die Unterstützung der polizeilichen Arbeit, z.B. bei der Leichenbergung und der Dokumentation sowie für das Bergen der Flugschreiber, wurden getrennte Arbeitsgruppen für die B757-200 und die TU154M gebildet.

Die Bergung der beiden Wracks und der Transport der Teile zur Halle auf dem Flughafen Friedrichshafen gestaltete sich zum Teil sehr schwierig, weil die Teile mitunter sehr groß waren, unversehrt bleiben sollten und deshalb nicht getrennt werden konnten.

Nach der Bergung der Wracks, die am fünften Untersuchungstag abgeschlossen werden konnte, wurden diese in dem Hangar des Flughafens Friedrichshafen ausgelegt und auf Kollisionsspuren untersucht.

1.12.1 Boeing B757-200

Unfallstelle und Feststellungen am Flugzeug

Das Hauptwrack der Boeing lag ca. 1 km westsüdwestlich des Ortes Taisersdorf östlich der Kreisstraße K 7788 in einen Mischwald. Die Unfallstelle hatte eine Ausdehnung von 110 x 30 m.



Hauptwrack

Das rechte Triebwerk war auf einer Wiese 250 m westlich und das linke Triebwerk in einem Maisfeld ca. 300 m südwestlich des Hauptwracks aufgeprallt. Beide Triebwerke wiesen Brandspuren auf, die durch Verbrennen des Restkraftstoffes in den Kraftstoffsystemen entstanden waren. Beide Triebwerke waren tief in den Boden eingedrungen, sodass sie fast bündig mit der Erdoberfläche waren. Sie wiesen einen hohen Zerstörungsgrad durch mechanische Deformation auf.



rechtes Triebwerk



linkes Triebwerk

Die B757-200 war mit einer negativen Längsneigung von ca. 70° in dem Mischwald aufgeprallt. Das Cockpit steckte ca. 2 m tief im lehmigen Waldboden. Die Flugzeuglängsachse zeigte in ost-nordöstliche Richtung. Der Rumpf war bis ca. 2 m vor dem Leitwerk durch Aufprall und Brand zerstört. Die Fracht, die in Containern verpackt war, von denen nur noch Fragmente erkennbar waren, hatte sich über den gesamten Rumpfbereich verteilt.

Der linke Tragflügel war im Außenbereich verbrannt. Man konnte jedoch noch seine Umrisse erkennen. Ebenso erkennbar waren die Querruder und Flügelklappen. Ähnliche Beschädigungen wies der rechte Tragflügel auf. Hier hatten sich Teile des Querruders und der Flügelklappen beim Aufprall separiert.

Der hintere Teil des Rumpfes wies zwar schwere Beschädigungen jedoch keine Brandspuren auf. Der Leitwerksträger war gut zu erkennen. Die Teile des Höhenleitwerks waren vollständig vorhanden. Vom Seitenleitwerk war noch ein Stumpf der Flosse von ca. 1,30 x 2,50 m übrig

geblieben. Im vorderen Bereich des Stumpfes waren das Steuergestänge und der Hydraulikzylinder zu sehen (siehe unten).



Die linke Seite der Beplankung war nach hinten links in Fetzen abgerissen.



Die rechten Abrisskanten der Seitenflossenbeplankung am Stumpf waren nach links hinten verbogen.



←
Flugrichtung

Die oberen Teile mit einer Länge von ca. 2,30 m wurden südöstlich des Hauptwracks in einer Entfernung von 4 bis 5 km in der Nähe der Ortschaft Altheim gefunden. Der mittlere Teil des Seitenleitwerks mit ca. 4 m Höhe und einer Breite von ca. 5 m fehlte.

Die Verkleidungen der Hilfsturbine (APU) hingen in ihren Scharnieren. Die APU war aus ihrer Verankerung gerissen worden.



Abgasrohr der APU

Aus dem hinteren Teil des Rumpfes konnten FDR und CVR geborgen werden.



Die Hydrauliknotpumpe (RAT= Ram Air Turbine) wurde nahezu komplett und ohne Brandbeschädigung aufgefunden.

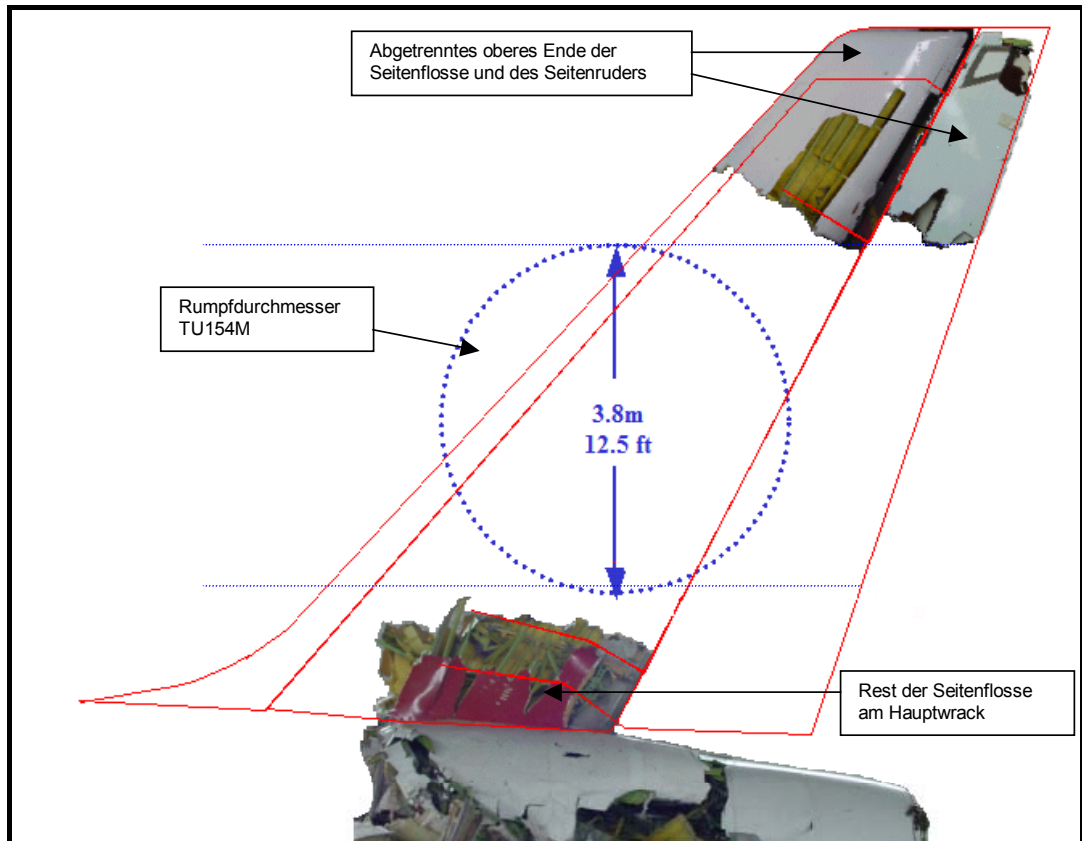


Ram Air Turbine ohne Propeller

Von den Cockpitinstrumenten wurden nur Fragmente gefunden. Das Avionikkompartment wurde freigelegt; die Geräte waren hochgradig beschädigt. Die Geräte der TCAS-Anlage wurden nicht gefunden. Die TCAS-Antennen wurden identifiziert.

Zusätzliche Erkenntnisse:

- Beim Zusammenstoß wurden ca. 80% des Seitenleitwerks abgerissen. Der Hersteller erklärte, dass der verbliebene Rest des Seitenleitwerks nicht ausreichte, das Flugzeug um die Hochachse zu stabilisieren.



Beschädigungen am Seitenleitwerk der B757-200 und Vergleich mit dem Rumpfdurchmesser der TU154M

- Die Fahrwerke und die Flügelklappen befanden sich im eingefahrenen Zustand.
- Der Abstand zwischen dem Zusammenstoßpunkt und der Lage des Hauptwracks der B757-200 betrug ca. 7 km. Die oberen Teile des Seitenleitwerks wurden ca. 8 km nordöstlich des Kollisionspunktes und 4 bis 5 km südöstlich des Hauptwracks aufgefunden.
- Das linke Triebwerk wurde auf der rechten Seite der ermittelten Flugbahn und das rechte Triebwerk links davon aufgefunden.
- Beim Eintauchen in den Wald wurde das Heck von Bäumen abgetrennt und blieb vom Brand verschont.

1.12.2 Tupolew TU154M

Die TU154 M war im Flug in vier Hauptteile zerbrochen. Die Hauptteile Rumpf, rechter bzw. linker Tragflügel und zentraler Tragwerkskasten sowie das Leitwerk einschließlich Triebwerke waren in einem Streubereich von ca. 2,3 km aufgeprallt. Von den 69 Insassen des Flugzeuges wurden 40 Leichen außerhalb der Wrackteile und 29 im Rumpf bzw. in dessen unmittelbarer Umgebung gefunden.

Rumpf:

Der vordere Flugzeugrumpf war im Bereich Brachenreuthe auf ebenem Gelände (Apfelplantage) unmittelbar südlich einer in Richtung 290° verlaufenden Freileitung und 20 m nördlich eines befestigten Feldweges senkrecht aufgeprallt. Das insgesamt ca. 19 m lange Wrackteil lag auf der linken Rumpfseite, war in Höhe des 41. von insgesamt 83 Spanten abgetrennt und wies in Richtung 127°. Die Rumpfspanten selbst waren gebrochen und die Außenhaut an der Unterseite auf einer Länge von 9 m und auf der Rumpfoberseite an zwei Stellen in Längsrichtung aufgeplatzt. Die Rumpfröhre war auf etwa die Hälfte des ursprünglich 3,80 m betragenden Durchmessers zusammengedrückt.



Übersichtsaufnahme vorderer Flugzeugrumpf

Brand- oder Kollisionsspuren wurden an dem Wrackteil nicht festgestellt.

Aus dem Cockpit wurden die Leichen der fünf Mitglieder der Crew geborgen. Eintragungsschein, Lufttüchtigkeitszeugnis, Bordbuch und die Dokumentation der letzten technischen Überprüfungen des Flugzeuges wurden sichergestellt.

Eine Dokumentation der Anzeigen der Instrumente sowie der Schalter- bzw. Hebelstellungen im Cockpit war aufgrund des Zerstörungsgrades nur eingeschränkt möglich. Das TCAS-Bedienteil, beide Anzeigegeräte, beide Antennen und der TCAS-Computer wurden ausgebaut und für weitere Untersuchungen sichergestellt.

Linker Tragflügel:

Der linke Tragflügel war zusammen mit dem zentralen Tragwerkskasten in Owingen an der Zufahrt zu einem Golfplatz in den Garten eines Wohngebäudes gestürzt. Die Aufprallstelle befand sich in einer Entfernung von 1,8 km in nordöstlicher Richtung zum Flugzeugrumpf.

Der zentrale Tragwerkskasten des Flugzeuges lag auf der asphaltierten Zufahrtsstraße vor einer Mauer. Das Wrackteil selbst hatte gebrannt, der Asphalt der Straße wies jedoch kaum Brandspuren auf. Der fehlende rechte Tragflügel war an der Flügelwurzel vom Tragwerkskasten abgebrochen.



Zentraler Tragwerkskasten

Der linke Tragflügel war mit dem zentralen Tragwerkskasten nur noch an der Flügelhinterkante im Bereich der inneren Landeklappen im Bereich der inneren Landeklappen und durch Leitungen verbunden. Der Tragflügel selbst lag auf dem erhöht liegenden Grundstück, ca. 10 m von dem Wohnhaus entfernt. Der Flügel war von der Vorderkante zwischen Flügelwurzel und dem inneren Vorflügel schräg nach hinten in Richtung des Flugzeugrumpfes durchtrennt. Teile aus diesem Bereich des Tragflügels fehlten.



Linker Tragflügel

Das äußere Drittel des Flügels war durch den Brand geschmolzen, die Vollständigkeit des Tragflügels war aber an dessen Umrissen bis zum Randbogen zu erkennen.

Leitwerk:

Das Wrackteil war ohne Vorwärtsgeschwindigkeit am Zufahrtsweg zur Heimsonderschule Brachenreuthe, ca. 300 m nördlich des vorderen Rumpfes auf einen Acker geprallt. Die Seitenflosse war beim Aufschlag unterhalb des Seitenruders abgebrochen. Das T- Leitwerk lag ca. 15 m östlich des Rumpfhecks.



Übersichtsaufnahme hinterer Rumpf/Leitwerk

Das Rumpfheck war auf der linken Seite am Spant 56 und auf der rechten Seite am Spant 52 abgebrochen. Das Wrackteil wies in Richtung 235° und war durch Brandeinwirkung und durch den Aufprall zerstört.

An den Vorderkanten von Seiten- und Höhenflosse und an den Lufteinläufen der drei Triebwerke wurden keine Berührungsspuren festgestellt.

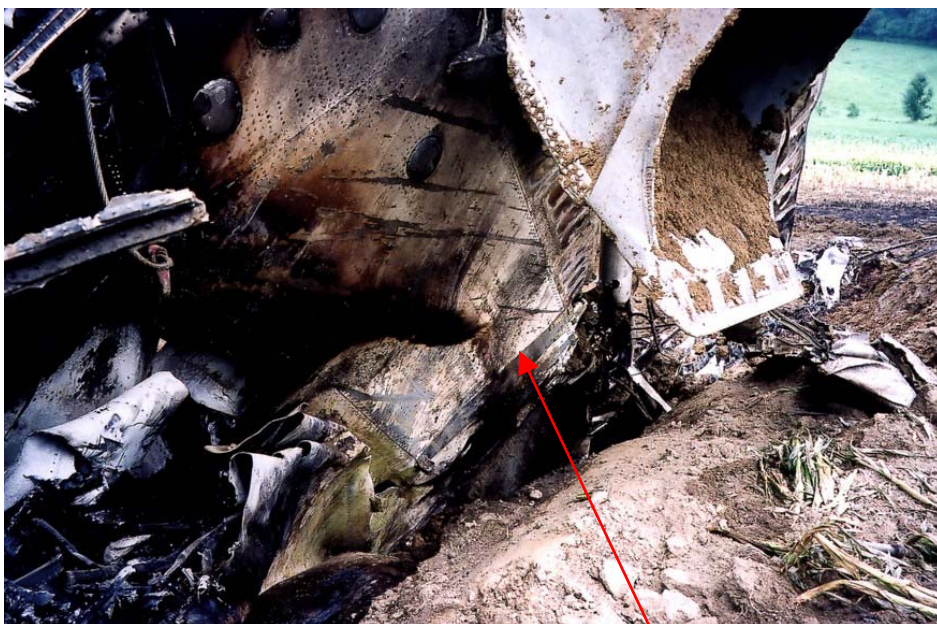
Rechter Tragflügel:

Das Wrackteil lag ca. 800 m südlich der Aufprallstelle des Flugzeugrumpfes, etwa 30 m westlich der Kreisstraße 7786, nördlich der Ortschaft Aufkirch in einem Maisfeld. In einem Radius von 15-20 m um die Aufprallstelle hatten die Pflanzen infolge ausgetretenen Kraftstoffs und Brandeinwirkung eine bräunliche Farbe.



Übersichtsaufnahme rechter Tragflügel

Die durch den Aufprall entstandene, in Richtung 228° verlaufende Grube war ca. 18 m lang. Der innere Teil des Flügels, von der Tragflügelwurzel bis zum Hauptfahrwerk, steckte ca. 3,5 m tief im Erdreich. Der äußere Teil des rechten Tragflügels zwischen Hauptfahrwerk und Randbogen war, bis auf die Tragflügelvorderkante, weitgehend durch Brand zerstört. Ein sechs Meter langes Wrackteil der Oberseite des rechten Tragflügels mit Resten des Flugzeugeintragszeichens lag etwa 20 m von der Aufprallstelle des Flügels entfernt. Auf der Unterseite des Tragflügels zwischen Flügelwurzel und Hauptfahrwerk wurden Kratzspuren von ca. 3,60 m Länge und ca. 0,9 m Breite und rote Farbantragungen vorgefunden. Die rechte Führungsschiene der inneren Landeklappe, ein Fahrwerkstor und der hintere Teil der Hauptfahrwerksgondel fehlten.



Unterseite des rechten Tragflügels mit Kratzspuren

Aus dem Flügel wurden durch die Feuerwehr ca. 4 000 l Kraftstoff abgepumpt.

Streuteile

Das zwischen Spant 41 und 51 der rechten Rumpfseite fehlende, ca. 5 m lange Teil des Flugzeuges lag etwa 400 m östlich der Aufprallstelle des rechten Tragflügels. Dieses Wrackteil wies Brandspuren auf.

Etwa 2 km östlich von Owingen wurde in einem Waldstück ein 2,50 m langes Teil von der Unterseite des linken Flügels aus dem Bereich des Rumpf-/Tragflügelüberganges gefunden. Die am rechten Tragflügel fehlende Landeklappenführungsschiene wurde ebenfalls nahe Owingen gefunden. An dem Wrackteil wurden rote Farbantragungen und mechanische Verformungen festgestellt.

Einen Kilometer westlich der Ortschaft Ernatsreute lag ein 3,60 x 3,70 m messendes Teil der linken Rumpfseite. Das Teil umfasste die hinter den Notausstiegen befindlichen sieben Fenster (Spant 48 bis 55). Am Rahmen des hinteren Notausstiegs beginnend war die weiße Lackierung großflächig abgelöst und Kratzspuren verliefen schräg nach hinten.

Im Bereich der Ortschaft Steinhöfe wurde ein 3,60 m langes und 1,20 m breites Teil des Kabinendachs des Flugzeuges vorgefunden. An der Außenseite dieses Wrackteils befanden sich ca. 45° zur Flugzeuglängsachse verlaufende Kratzspuren von 1,30 m Länge und 0,90 m Breite.

Westlich von Steinhöfe lag eine von der linken Kabinenseite stammende Sitzreihe mit drei Passagiersitzen auf einer Wiese; am inneren Sitz waren Sitzbezug und Polsterung verbrannt.

An einem einen Kilometer südlich von Steinhöfe gefundenen 2,80 m langen Teil der Verkleidung des rechten Hauptfahrwerks der TU154M befanden sich rote Farbantragungen und Reste der Wabenstruktur von Bauteilen der B757-200.



Verkleidung des rechten Hauptfahrwerks

Westlich der Ortschaft Altheim wurden auf einer Fläche von ca. 4 km² Teile beider Flugzeuge gefunden. In unmittelbarer Nähe von zwei je ca. 30 cm breiten Teilen der Vorderkante des linken Tragflügels der TU154M wurde der obere Teil der Seitenflosse der Boeing 757-200 gefunden.



Ein Fahrwerkstor des rechten Hauptfahrwerks der TU154M mit roten Farbantragungen sowie ein Teil der Innenverkleidung der Kabine mit der Sitzreihenummer 21 wurden in diesem Be-

reich gefunden. Nahe Altheim wurden außerdem eine Notrutsche, Teile der Bordküche und der Innenverkleidung des Flugzeuges gefunden.

Rekonstruktion des Zusammenstoßes anhand der Berührungsspuren

Am linken Tragflügel der TU154M wurden Kollisionsspuren zwischen der Tragflügelwurzel und dem inneren Vorflügel festgestellt. Die Bruchstücke der Tragflügelvorderkante wiesen rote Farbantragungen auf.



Der Flügel einschließlich der Tragflügelholme war bei der Kollision durchtrennt worden. An der Bruchstelle waren die Stringer des Tragflügels nach hinten gebogen.



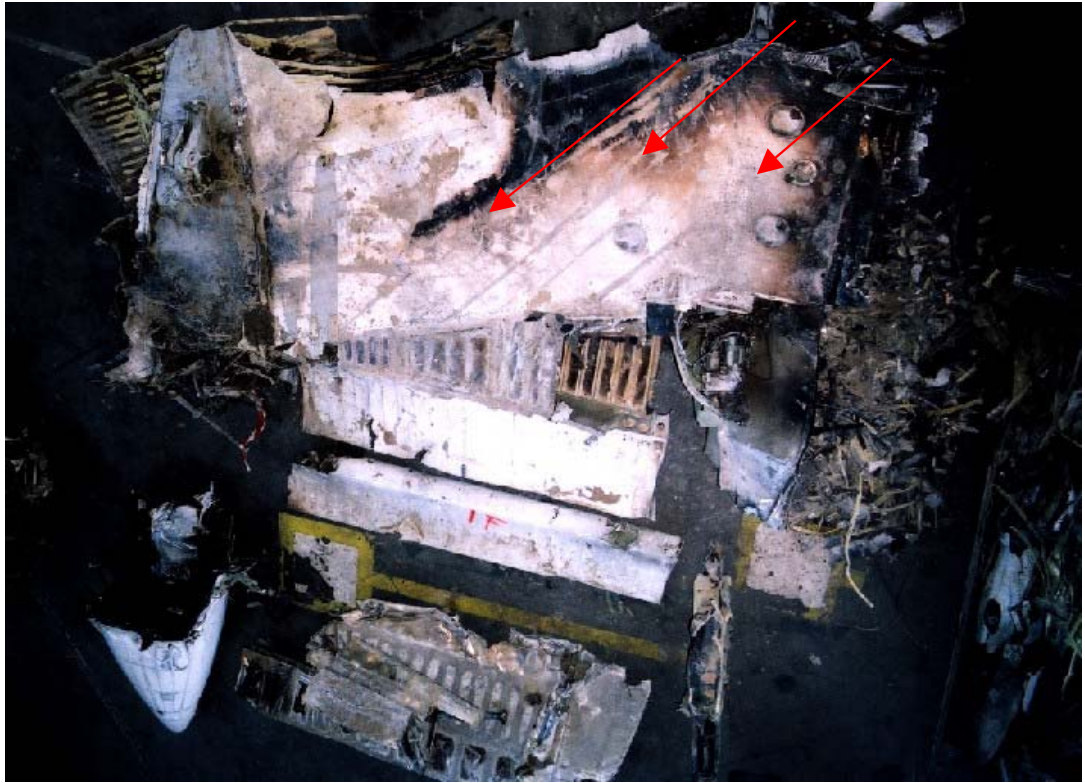
An der linken Rumpfseite oberhalb des Tragflügels war der Bereich der beiden Notausstiege zertrümmert. Es wurden Kratzspuren, eine großflächige Abtragung der Lackierung und rote Farbantragungen festgestellt.



Der Winkel zwischen den auf Teilen des Rumpfdachs festgestellten Kratzspuren und der Längsachse der TU154M betrug 46° .



Auf der Unterseite des rechten Tragflügels fanden sich mehrere parallele Kratzspuren von maximal 3,60 m Länge und von 0,90 m Breite. Sie verliefen unter einem Winkel von 46° zur Flugzeuglängsachse in Richtung des rechten Hauptfahrwerks. Auch hier fanden sich rote Farbantragungen.

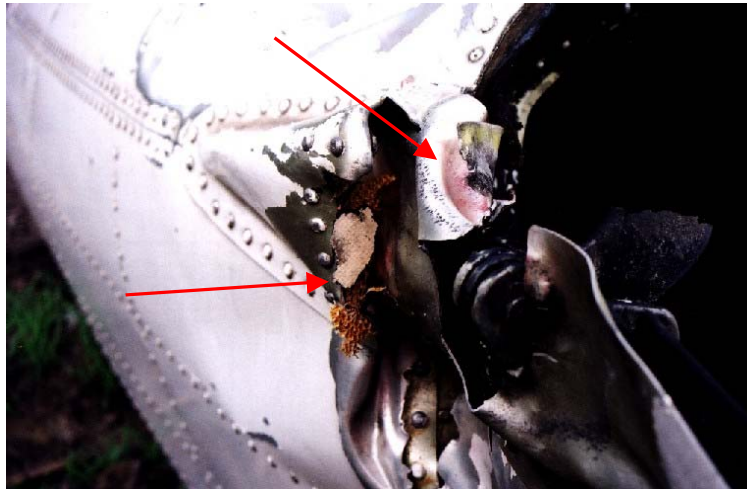


Unterseite des rechten Tragflügels mit Berührungsspuren

Auf der rumpfseitigen Seite der vom rechten Tragflügel stammenden abgetrennten Landeklappenführungsschiene wurden mechanische Verformungen und rote Farbantragungen festgestellt.



An dem ebenfalls vom Tragflügel abgetrennten hinteren Teil der Verkleidung des rechten Hauptfahrwerks befanden sich neben roten Farbantragungen Reste der Wabenkonstruktion des Seitenruders der B757-200.



Rote Farbantragungen und Teile der B757-200

Laut FDR-Aufzeichnungen flog die TU154M bei der Kollision mit einem MH von 274° , einem Längsneigungswinkel von 0° , einer rechten Querneigung von 10° . Die B757-200 flog ein MH von 004° , hatte eine negative Längsneigung von ca. 2° und eine Querneigung von 0° .



Rekonstruktion des Zusammenstoßes anhand von Flugschreiberdaten und Berührungsspuren

Weitere Untersuchungen:

Eine Untersuchung von Farbproben und Blechteilen beider Flugzeuge wurde beim Landeskriminalamt (LKA) Niedersachsen mit Hilfe optischer Hilfsmittel sowie Infrarotspektroskopie mittels eines Fouriertransform-Infrarot-Spektrometers und eines Infrarotmikroskops durchgeführt.

In dem Gutachten des LKA Niedersachsen vom 01. November 2002 wurde festgestellt, dass

- einzelne Schichten der roten Lackierung der von der B757-200 stammenden Teile bezüglich ihrer Infrarotspektren mit dem roten Abrieb auf dem von der Tragflügelvorderkante des linken Tupolewflügels stammenden Teils übereinstimmten.
- Darüber hinaus bestand Übereinstimmung in der Abfolge, der Dicke und der sonstigen visuellen Eindrücke zwischen allen sieben Schichten der an dem Tupolewteil anhaftenden roten Fremdlacksplitter und den von der B757-200 stammenden Teilen.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass sich auf dem von der Flügelvorderkante des linken Tragflügels der TU154M stammenden Teil bis zu siebenschichtiger roter Fremdlack befand, der mit der Lackierung der B757-200 Teile materialgleich war.

1.13 Medizinische und pathologische Angaben

Die insgesamt sieben Flugbesatzungsmitglieder beider Flugzeuge wurden auf Anweisung der Staatsanwaltschaft Konstanz durch Gerichtsmediziner des Gerichtsmedizinischen Instituts der Universität Tübingen obduziert.

Zusammengefasst kommen die Gutachten zu dem Ergebnis, dass alle fliegerischen Besatzungsmitglieder an den Folgen des Zusammenstoßes bzw. des Aufpralls der Flugzeuge auf dem Boden infolge hochgradiger Zerstörung der Körper starben. Untersuchungen auf gesundheitliche Vorschädigungen erbrachten negative Resultate; ebenso Untersuchungen auf Alkohol, Medikamente und Drogen.

Es gab keine Hinweise auf physiologische oder gesundheitliche Beeinträchtigungen.

Am 2. Juli 2002 um 07:15 Uhr wurden vom verantwortlichen Lotsen des ACC Zürich Blut- und Urinproben entnommen und durch das Institut für Rechtsmedizin der Universität Zürich auf Drogen, Alkohol und Medikamente untersucht. Die Untersuchungen ergaben negative Befunde.

Passagiere wurden nicht obduziert. Sie konnten anhand von Zahnschemata, Personenbeschreibungen, Kleidungs- und Schmuckstücken sowie durch molekularbiologische Untersuchungen (Vergleich der DNA) identifiziert werden.

1.14 Brand

Nach dem Aufprall der B757-200 auf dem Boden entstand ein großflächiger Brand, der auch das Waldgebiet mit erfasste.

An der Tupolew TU154M wurden an allen Hauptwrackteilen mit Ausnahme der Zelle Brandspuren festgestellt. Augenzeugen bestätigten, dass das Flugzeug im Flug brannte.

Die Brände wurden durch die örtlichen Feuerwehren gelöscht.

1.15 Überlebensaspekte

Die Insassen beider Flugzeuge hatten infolge der unter Kapitel 1.12. näher beschriebenen Folgen des Zusammenstoßes (TU154M) bzw. der Aufprallsituationen (B757-200) keine Überlebenschancen.

40 Insassen der TU154M fielen nach dem Zusammenstoß aus dem Flugzeug.

1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

1.16.1 Untersuchung am Radarsystem des ACC Zürich

Das vom ACC Zürich genutzte Radarsystem wurde nach dem Unfall durch die schweizerische Unfalluntersuchungsbehörde (BFU in Bern) untersucht. Schwerpunkt dieser Untersuchung war die Klärung der Systemarchitektur und die technische Konfiguration des Systems zum Zeitpunkt des Unfalles.

In diesem Zusammenhang wurden unter anderem die Systemfunktionalitäten der Radardatendarstellung im Fallback Modus und des STCA analysiert.

Über die Untersuchung hat die BFU der Schweiz einen Bericht verfasst: Die Ergebnisse wurden Bestandteil der Untersuchung und werden im Kapitel 1.17.1 abgehandelt.

1.16.2 ACAS/TCAS II Analyse durch Eurocontrol

Ein TCAS-Spezialistenteam von Eurocontrol hat den Unfall mit Hilfe von drei TCAS Simulationen analysiert. Es wurden drei verschiedene Datenquellen und zwei verschiedene TCAS II Analysewerkzeuge verwendet.

Aus der Eurocontrol Studie ergaben sich aus Sicht der BFU folgende wesentliche Erkenntnisse:

- Die Analyse bestätigte, dass die TAs und RAs in beiden Flugzeugen dem Design der CAS-Logik entsprechend ausgelöst wurden.

- Die Simulation und die Analyse der Anzeigesequenzen zeigten, dass die anfänglichen RA's eine sichere vertikale Staffelung beider Flugzeuge gewährleistet hätten, wenn sie von beiden Flugbesatzungen genau befolgt worden wären.

Darüber hinaus hat Eurocontrol in einer weiteren Analyse geprüft, wie sich TCAS II mit dem bereits vor dem Unfall entwickelten Änderungsvorschlag CP 112 in diesem Fall verhalten hätte. Nach den vorgelegten Ergebnissen, hätte TCAS nach dem Erscheinen der RA eine umgekehrte RA (Reversal RA) generiert, die bei entsprechender Reaktion durch die Besatzung der Boeing B757-200 zu einem ausreichenden vertikalen Abstand beider Flugzeuge geführt hätte.

1.17 Organisationen und deren Verfahren

1.17.1 Flugsicherung Zürich

Der Unfall ereignete sich über dem Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland. Die Kontrolle des Luftraumes, in dem der Unfall geschah, ist an die Flugsicherungsorganisation der Schweiz delegiert. Entsprechend den Forderungen des ICAO Annex 11 (Chapter 3.5) waren zwischen den zuständigen Flugsicherungskontrollstellen die Modalitäten für die Delegation der Kontrolle in „Letters of Agreement“ (LoA) festgelegt.

Das Flugsicherungsunternehmen der Schweiz ist eine privatrechtliche schweizerische Aktiengesellschaft, die aus der Staatlichen Flugsicherung hervorging und seit dem 1. Januar 2001 unter einem neuen Namen firmiert. Im Auftrag der Eidgenossenschaft nimmt das Unternehmen den Flugsicherungsdienst im Luftraum der Schweiz und die Kontrolle der Lufträume der angrenzenden Staaten wahr, die an das Unternehmen delegiert wurde. Das gesetzliche Mandat der Eidgenossenschaft umfasst die Verkehrsdienste der Flugsicherung, den Fernmeldedienst, den technischen Dienst, den Luftfahrtinformationsdienst und den Flugwetterdienst, der in Zusammenarbeit mit Meteo Schweiz erbracht wird. Zuständig für die Dienstaufsicht über das Flugsicherungsunternehmen ist das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) in Bern.

Der Luftraum ist in zwei ACC, Zürich und Genf, sowie in die Kontrollzonen der Flughäfen Zürich, Genf, Bern-Belp und Lugano-Agno unterteilt. Die Regionalflugplätze betreiben ihren örtlichen Flugsicherungsdienst selbständig im Auftrag des Flugsicherungsunternehmens.

Das Verkehrsaufkommen beim ACC Zürich ist durch drei unterschiedliche Hauptverkehrsströme gekennzeichnet:

- An- und Abflüge zu den Flughäfen innerhalb des ACC Zürich, insbesondere sehr starker Verkehr zum Flughafen Zürich, sowie zum Flughafen Friedrichshafen, die aber beide nachts geschlossen sind.
- Steig- und Sinkflüge zu den Flughäfen in Süddeutschland, in Norditalien und Basel/Mühlhausen.
- Transitflüge aus Mittel- und Nordeuropa nach Südeuropa und in Gegenrichtung sowie aus West- nach Osteuropa und in Gegenrichtung.

Das Verkehrsaufkommen in der Nacht ist durch Überflüge im Transitverkehr geprägt.

Flugplandaten (Kontrollstreifen)

Zur Verkehrsdarstellung werden neben dem Radar auch Kontrollstreifen als Hilfsmittel benutzt. Sie sind insbesondere für den RP von Bedeutung, weil er für die Verkehrsplanung zuständig ist und den RE zu informieren hat, wenn die Staffelung an Kreuzungspunkten nicht mehr gewährleistet ist. Die Kontrollstreifen enthalten alle notwendigen Informationen für den Lotsen, die er für eine sichere Planung und Führung des jeweiligen Fluges benötigt. Für jeden Flug, dessen Flugplandaten in das Flugplandaten-Verarbeitungssystem (FDPS – Flight Data Processing System (SYCO)) eingegeben werden, erstellt das System den für die Darstellung und Analyse des Luftverkehrs erforderlichen Kontrollstreifen. Die auf ihm dargestellten Daten unterteilen sich in Flugplandaten, Flugverlaufsdaten und den Transpondercode. Jeder Kontrollstreifen enthält Einflug-, Kreuzungs- und Ausflugpunkte. Die Kontrollstreifen liegen den Lotsen in der Regel vor, wenn die betroffenen Flugzeuge auf dem Radarmonitor noch nicht dargestellt werden. Alle von der Flugverkehrskontrollstelle erlassenen Anweisungen und durchgeführten Koordinationen mit angrenzenden Stellen sowie die von den Piloten gemeldeten Daten sind auf den Kontrollstreifen lückenlos zu dokumentieren.

Die Kontrollstreifen sind für spätere Auswertungen für mindestens 30 Tage zu archivieren.

Für alle betroffenen Flüge lagen die Kontrollstreifen ca. 20 Minuten vor dem Einflug in den Zuständigkeitsbereich vor. Für die Flüge der B757-200, der TU154M und des A320 wurden gegen 21:11 Uhr die entsprechenden Sytemmeldungen an das ACC Zürich verschickt und von dort bestätigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass unmittelbar danach der Ausdruck der Kontrollstreifen erfolgte. Zu welchem Zeitpunkt der Lotse Kenntnis von den Kontrollstreifen erhielt, konnte nicht geklärt werden.

DHX611	7524	260	360	ABE	KUD	LOK
	0463			2120	2130	2135
LIME TGO	EBBR					
B752	465 48		R360			

Kontrollstreifen für die B757-200

Auf dem Kontrollstreifen für die B757-200 war die Streckenführung (Routing) ABESI-KUDES-LOKTA vorgesehen. Die geschätzten Überflugzeiten an den jeweiligen Streckenpunkten waren in der Reihenfolge mit 21:20, 21:30 und 21:35 Uhr angegeben. Der Einflug in den Zuständigkeitsbereich des ACC Zürich war in FL260 vorgesehen. Für die Höhe am Ausflugsunkt war FL360 eingetragen.

BTC2937	7520	360	350	NEG	TRA	BEN
	4125			2136	2142	2151
UDD NINTU	LEBL					
T154	470 44		R360			

Kontrollstreifen für die TU154M

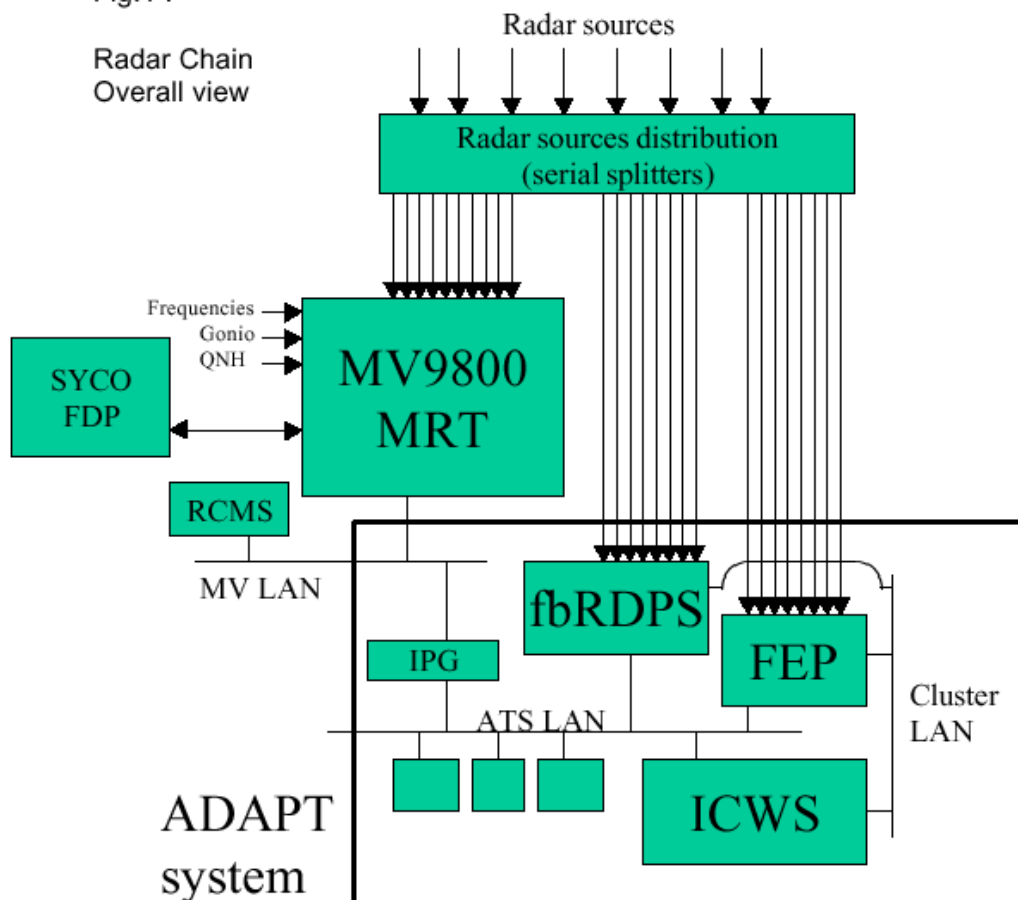
Auf den Kontrollstreifen für die TU154M war die Streckenführung (Routing) NEGRA-TRASADINGEN (TRA)-BENOT vorgesehen. Die geschätzten Überflugzeiten an den jeweiligen Streckenpunkten waren in der Reihenfolge 21:36, 21:42 und 21:51 Uhr. Nach dem Überflug des Trasadingen VOR war ein Sinkflug auf FL350 vorgesehen, da gemäß AIP-Schweiz für die ab hier zu benutzende Route ungerade Flugflächen-Nummern vorgesehen sind. Obwohl sich die beiden Routen in FL360 kreuzten, war kein gemeinsamer Kreuzungspunkt (Crossing-Fix) auf den Kontrollstreifen vorgesehen.

Radarsystem des ACC Zürich

Die Flüge der betroffenen Flugzeuge wurden vom Radarsystem aufgezeichnet und standen für die Untersuchung als Ausdrücke und Daten der Radarstationen zur Verfügung. Zur Rekonstruktion der Flugbahnen wurden zusätzlich die Daten der Anflugradaranlage Stuttgart verwendet.

Das Radardaten-Verarbeitungssystem besteht aus den drei Hauptrechnern MV9800 der Firma Thomson. Ein MV-Rechner befindet sich jeweils im „heißen Betrieb“, der zweite Rechner in der „heißen Reserve“ und der dritte Rechner wird zu Tests und zur Weiterentwicklung von Software benutzt. Er befindet sich in einer „kalten Reserve“. Der MV9800 verarbeitet die von den Antennen eingehenden Signale und korreliert diese automatisch mit den vom Flugplandaten-Verarbeitungssystem (SYCO) gelieferten Flugplandaten. Der MV9800 wird vom RCMS (Remote Control & Monitoring System) gesteuert und überwacht. Die im MV-Rechner korrelierten Radarbilder werden über entsprechende Verbindungen (IPG-IPS Interface Gateway) an die Monitore (ICWS - Integrated-Controller-Workstation) der Lotsen übertragen. Vom „Legal Recording“ werden die Radarrohdaten und die Ausgabe der im MV9800 verarbeiteten Radardaten aufgezeichnet. Die Ausgabe des TracView des Fallback-Rechners fbRDPS wird nicht aufgezeichnet.

Fig.1 :

Radar Chain
Overall view

Gleichzeitig werden von den Antennen der Fallback-Tracker (fbRDPS-fallback Radar-Data-Processing-System) und die Radar-Direktanzeige (FEP- Front-end Processor) mit Radardaten beliefert. Die Erneuerungsrate des Radarbildes auf dem ICWS beträgt 12 s auf der Basis (synchronisiert) der Radarstation Lägern.

Das System ist mit einem optischen und akustischen STCA (**Short Term Conflict Alert**) ausgestattet. Das optische STCA wird 120 s vor der Annäherung der Luftfahrzeuge auf weniger als 6,5 NM und weniger als 1 500 ft, bzw. 750 ft bei Anwendung der RVSM ausgelöst. Der akustische Alarm wird ausgelöst, wenn die betreffenden Luftfahrzeuge einen Abstand von 6,5 NM zueinander unterschritten haben. Der akustische Alarm ist am Tage abgeschaltet und wird jeweils zu Beginn des Nachtdienstes vom Systemmanager (SYMA) zugeschaltet. Eine Aufzeichnung der Zu- bzw. Abschaltung durch das System existiert nicht, ist aber in der täglichen Checkliste des SYMA als „Checkmarke“ enthalten.

Im normalen Betrieb arbeiten die nachfolgend aufgeführten Modi gleichzeitig:

- MV (MV9800-Rechner)
- Fallback (MV9800 steht nicht zur Verfügung)
- SR(shortrange)-Radar (MV9800 und fbRDPS stehen nicht zur Verfügung)
- LR(longrange)-Radar (MV9800 und fbRDPS stehen nicht zur Verfügung)

Der Lotse kann den jeweiligen Modus wählen. Im normalen Betrieb wählt der Lotse den Mode „MV“ und erhält ein korreliertes Radarbild vom MV-Rechner über dem IPG auf seinem ausgewählten und entsprechend dem Sektor eingestellten ICWS (Workstation des Lotsen). Steht ein Modus nicht zur Verfügung, leuchtet die jeweilige Anzeige rot.

Ist die Verbindung über das IPG unterbrochen, ist das korrelierte Radarbild nicht mehr verfügbar. Der Lotse muss dann im Fallback-Modus arbeiten.

Im Fallback-Modus wird das Radarbild im Fallback-Radarrechner (fbRDPS) erzeugt. Da der fbRDPS keine Verbindung zum System SYCO (Flugplandatenverarbeitung) hat, wird kein au-

tomatisch korreliertes Radarbild erzeugt. Das bedeutet, dass keine automatische Verknüpfung der Radardaten mit den entsprechenden Flugplandaten erfolgt. Eine manuelle Verknüpfung ist möglich, erfordert aber in jedem Einzelfall eine entsprechende Eingabe des Lotsen in das System.

Wird der Fallback-Modus gewählt, weil der MV-Rechner ausgefallen ist, steht STCA weder optisch noch akustisch zur Verfügung.

In der Nacht vom 1. Juli zum 2. Juli 2002 war aufgrund der Systemarbeiten - die im ADAPT-System (s. Blockschaltbild) stattfanden - die Verbindung vom MV-Rechner über das IPG zum ICWS unterbrochen. Somit stand das optische STCA nicht zur Verfügung. Der Rechner war aber nicht ausgefallen, sondern arbeitete im „Hintergrund“ weiter. Die Ausgabe des Signals für das akustische STCA an den jeweiligen Sektor erfolgte über direkte Verbindungen zwischen dem MV-Rechner und einem gesonderten STCA-Lautsprecher. Diese Verbindung wurde durch die Systemarbeiten nicht unterbrochen und somit stand das akustische STCA zur Verfügung.

Beim ACC Zürich werden die Signale folgender Radarstationen verwendet:

Lägern	- Enroute Radar
Holberg	- Approach Radar
La Dole	- Enroute Radar
TG (Lukmanier)	- Enroute Radar
Monte-Lesima, Italien	- Enroute Radar
Gosheim, Deutschland	- Enroute Radar

Situation im Kontrollraum des ACC Zürich

In der Nacht vom 1. zum 2. Juli 2002 war eine Änderung der Sektorisierung des oberen Luftraumes (Upper Sectors) geplant.

Insgesamt gab es vier obere Sektoren. Um die Abläufe beim 2- bzw. 3-Sektorenbetrieb zu vereinfachen, wurde der Luftraum über FL 245 bei 2- bzw. 3-Sektorenbetrieb horizontal aufgeteilt. Die teilweise vertikale Unterteilung hatte sich, insbesondere im Zusammenhang mit der Einführung von RVSM, nach Einschätzung des Unternehmens als ungünstig erwiesen.

Die Umstellungsarbeiten sollten am 1. Juli 2002 um 21:00 Uhr beginnen und ca. 6 Stunden dauern.

Dazu war es erforderlich, dass das Flugplandaten-Verarbeitungssystem (SYCO - System de Communication) verändert wurde. Ebenso waren folgende Systeme betroffen:

- das Radardaten-Verarbeitungs- und Darstellungssystem (ADAPT – ATM/AIS Data Acquisition Processing and Transfer System)
- der Multiradardaten-Rechner (MV9800 – Multiradar Tracker)
- das Flugplandaten-Verarbeitungssystem für Kontrollturm und Anflugleitstelle (TACO – Tower-Approach-Communication)
- der Landesequenz-Rechner (CALM – Computer-Assisted-Landing-Management-System)
- das Departure- and Arrival-traffic-Management-System (DARTS).

Ebenso war die ATS Boden-Boden-Fernsprechanlage (SWI-02 – Switch 02 ATS Telephone System) betroffen, die abgeschaltet werden musste, um die notwendigen Sektorisierungsänderungen durchführen zu können.

Zu diesen Änderungen wurden zwei „Dienstliche Weisungen“ herausgegeben (Z 2002-022 und Z 2002-024). In diesen Weisungen wurde die Zuordnung der neu gestalteten Sektoren beschrieben und die anzuwendenden Verfahren nach vollendeter Sektorisierung. Eine Auflistung der erforderlichen Arbeiten und deren Auswirkungen auf die einzelnen Arbeitsplätze im ACC Zürich bei Abschaltung der Systeme im Nachtdienst war nicht Bestandteil der Weisungen. Die Weisungen lagen im Briefingraum sowie am Arbeitsplatz des Dienstleiters aus.

Es lag ein zusätzliches Memorandum, „Außergewöhnliche Arbeiten an Flugsicherungsanlagen TDR-z 40/02“ vom 25. Juni 2002 vor, in dem die betroffenen Systeme aufgelistet waren, einschließlich der Mitteilung, dass im „Fallback-Modus“ zu arbeiten sei. Das bedeutete, dass das optische STCA dem Lotsen nicht zur Verfügung stand und keine automatische Korrelation zwischen Flugplandaten und Zielsymbol erfolgte, ohne dass dies explizit beschrieben wurde. Gem. ATMM ZC Band 2 ist in diesem Fall eine minimale Radarstaffelung von 7 NM (anstelle von 5 NM) vorgeschrieben.

Ein Hinweis, dass das System SWI-02 (Boden-Boden Direkt-Telefonverbindungen) abgeschaltet werden musste, fehlte.

Für die Durchführung der geplanten Arbeiten waren 10 Techniker eingeteilt. Diese waren über die unterschiedlichsten Diensträume verteilt, von denen sich ca. 5 bis 6 im Kontrollraum des ACC aufhielten.

Zur Verbindung zwischen Lotsen und Technikern war ein Mitarbeiter aus dem Leitungsstab des ACC abgestellt. Dieser hielt sich über den gesamten Zeitraum in unmittelbarer Nähe des Lotsenarbeitsplatzes auf. Ebenso war ein SYMA zum Dienst eingeteilt, der sich am „SYMA-Desk“ aufhielt. Die Funktion dieser beiden Mitarbeiter waren dem Lotsen nicht bekannt. Der Lotse ging davon aus, dass der SYMA-Dienst planmäßig gegen 21:00 Uhr beendet worden war und er diese Aufgaben im Nachtdienst mit zu übernehmen hatte. Die speziellen Aufgaben dieser beiden zusätzlichen Mitarbeiter waren in den dazu erlassenen Weisungen ebenfalls nicht beschrieben.

Die benachbarten Flugsicherungs-Kontrolldienste München und Rhein-Control (Karlsruhe), waren über die bevorstehenden Arbeiten zur Änderung der Sektorisierung nicht informiert worden.

Am 01. Juli 2002, gegen 21:10 Uhr betraten die Techniker den Kontrollraum, um die Arbeiten zu beginnen.

Vor Beginn der Sektorisierungsarbeiten wurden die Lotsen vom Systemmanager mündlich eingewiesen, ohne dass dabei die Besonderheiten durch die Abtrennung des MV9800-Rechners erwähnt wurden.

Ab 21:13 Uhr wurden die ICWS am Sektor SUED auf den „Fallback-Modus“ umgeschaltet. Die Isolierung dieses Sektors war um 21:18 Uhr abgeschlossen, d.h. ab diesem Zeitpunkt fand keine automatische Korrelation der neuen Radarziele mehr statt. Das optische STCA stand ebenfalls nicht mehr zur Verfügung. Ab 21:23 Uhr standen die direkten Telefonverbindungen (SWI-02) zu den benachbarten Flugsicherungskontrollstellen nicht mehr zur Verfügung.

Organisation des Nachtdienstes beim ACC Zürich

Während des Nachtdienstes wird der gesamte Luftraum des ACC Zürich zu einem Sektor (Sektorisierungsphase A) zusammengefasst und vom Arbeitsplatz für den Südsektor ausgeübt. Alle erforderlichen Funk- und Koordinierungsverbindungen sowie die Ausgabe von schriftlichen Informationen (z.B. Kontrollstreifen) werden auf diesen Arbeitsplatz geschaltet. In dieser Konfiguration wird der gesamte Höhenbereich von FL 1 bis FL 600 dargestellt.



Blick auf die drei Arbeitsplätze des Sektors SUED im Kontrollraum des ACC Zürich.
(Während der Nachtschicht vom 1.7. zum 2.7. 02 war der gesamte Luftraum des ACC Zürich auf den Arbeitsplatz RP (128,050 MHz) und der ARFA-Sektor auf den Arbeitsplatz RE (119,920 MHz) geschaltet)

Der Nachtdienst im ACC-Zürich ist planmäßig mit zwei Lotsen und zwei Assistenten (CA) besetzt. Diese Besetzung ergibt sich aus der Besetzung des Südsektors (Nachtdienst-Sektor) mit den Lotsen Radar-Planning (RP) und Radar-Exekutive (RE) sowie einem CA. Gleichzeitig hat einer der Lotsen die Aufgaben des Dienstleiters (DL) und des System-Managers (SYMA) mit wahrzunehmen, nachdem diese gegen 21:00 Uhr ihren Dienst beenden. Im Regelfall absolvieren die Lotsen zwei Nachtdienste in Folge. Der dienstälteste Lotse hat dabei gleichzeitig die Aufgaben des Dienstleiters wahrzunehmen.

Im ATMM ZC (ATM-Manual Zurich) sind unter anderem nachfolgende Aufgaben für die einzelnen Arbeitsplätze beschrieben:

Dienstleitung während des Nachtdienstes:

Während der Nacht, wenn der Arbeitsplatz DL und SYMA nicht besetzt sind, übernimmt der Dienstälteste FVL deren Funktionen in beschränktem Maße. DL und SYMA informieren bei ihrem Diensteende den Nachtdienst über besondere betriebliche und technische Vorkommnisse.

Der Radarverkehrsleiter (RE):

RE ist für den Radarverkehrsleitdienst eines Sektors verantwortlich. Er wird dabei durch das gesamte Sektorteam unterstützt.

Insbesondere ist er für folgende Aufgaben zuständig:

- *Sicherstellen der benötigten Radaranzeige durch entsprechende Einstellung des Gerätes*
- *Vertraut sein mit der Verkehrslage innerhalb des zugeteilten Luftraums*
- *Erteilen von Freigaben und Anweisungen an Luftfahrzeuge*
- *Durchführen des Radardienstes für kontrollierte Luftfahrzeuge. Die Erfüllung dieser Aufgabe unterliegt Einschränkungen, wie Arbeitsanfall, Wettereinflüssen und Leistungsfähigkeit der technischen Infrastruktur.*
- *Durchführen des Fluginformations- und Alarmdienstes*
- *bei Radarausfall Erstellen von Staffelung und Weiterführung des Verkehrsdienstes gemäß den publizierten Notverfahren, in enger Zusammenarbeit mit RP*
- *Benachrichtigung des DL über einen angekündigten ATIR sowie über Vorfälle, die zu einem OIR führen und Abfassen desselben*
- *bei Überlastung kann er Aufgaben an RP delegieren*

Der Planungs-Verkehrsleiter (RP):

RP ist in seinem Sektor für die Verkehrsplanung und für die an ihn delegierten Aufgaben verantwortlich.

Er hat mit der Verkehrslage soweit vertraut zu sein, dass er die Arbeit des RE sinnvoll unterstützen kann.

Damit er sich auf seine wesentlichen Aufgaben konzentrieren kann, soll die Erledigung von Routinetätigkeiten so weit als möglich an CA delegiert werden.

Insbesondere ist er für die Erledigung nachfolgender Aufgaben zuständig:

- *Aktualisieren der Kontrollstreifen mit den für die Verkehrsplanung benötigten Daten und so weit möglich Überwachung der Sektorfrequenz*
- *Sicherstellen der erforderlichen Staffelungswerte an den Kontrollübergabepunkten*
- *Weiterleiten der Kontrollstreifen an RE*
- *Informieren von RE, sofern die Staffelung an Kreuzungspunkten nicht mehr gewährleistet ist.*

Der ARFA-Verkehrsleiter (ARFA):

Insbesondere ist er für die Erledigung nachfolgender Aufgaben zuständig:

- *ARFA ist für den Radar- und Anflugdienst des Sektors ARFA verantwortlich.*
- *Vertraut sein mit der Verkehrslage innerhalb des zugeteilten Luftraums*
- *Erteilen von Freigaben und Anweisungen an Luftfahrzeuge*
- *Sicherstellen der erforderlichen Staffelungswerte an den Verkehrsleitübergabepunkten*
- *Durchführen des Radardienstes für kontrollierte Luftfahrzeuge. Die Erfüllung dieser Aufgabe unterliegt Einschränkungen, wie Arbeitsanfall, Wettereinflüssen und Leistungsfähigkeit der technischen Infrastruktur.*

Insbesondere hat er:

- *die Luftfahrzeuge zu identifizieren*

- die Radarkoordination mit anderen Sektoren zu besorgen
- die notwendige Koordination mit FRIEDRICHSHAFEN (EDNY), ST. GALLEN zu besorgen
- für jeden Anflug telefonisch eine Positionsmeldung (bei ca. 10 – 15 Track Miles) an FRIEDRICHSHAFEN bzw. ST.GALLEN zu übermitteln
- den Verlauf des Fluges zu verfolgen
- Luftfahrzeuge zur navigatorischen Unterstützung mit Radar zu führen

Controller-Assistentin (CA):

CA ist für die Entgegennahme, Verarbeitung und Weiterleitung von Estimates und Flugplänen verantwortlich. Grundsätzlich ist CA RP zugeordnet.

Insbesondere ist CA verantwortlich für:

- Erstellen, Verarbeiten und Verteilen der erforderlichen Kontrollstreifen
- Eingeben der erforderlichen Flugplandaten ins SYCO
- Entgegennehmen oder Abrufen von SSR-Codes
- Selbständiges Weiterleiten von Estimates bei "NO LAM" und Löschen des "NO LAM"-Alarmes
- Komplettieren fehlender Flugplandaten anhand der entsprechenden Daten aus dem CFMU-Computer
- Entgegennahme, Verarbeiten oder Weiterleiten der am CA-Arbeitsplatz ankommenden Telefonanrufe
- Erledigung zusätzlicher Arbeiten gemäß Anweisung RP
- Übermitteln von Verkehrsleitmeldungen gemäß Anweisung RP
- selbständiges Verarbeiten und Übermitteln von abgehenden Verkehrsleitmeldungen gemäß Anweisungen RP
- Ausführen von Anfragen und Abklärungen gemäß Anweisung RP
- Entgegennehmen ankommender Meldungen von Regionalflugplätzen und Weiterleiten der Meldungen an RP oder DL
- Übermitteln von Abflugfreigaben, SSR-Code, Release gemäß Anweisung RP
- Entgegennahme und Beantworten von Anfragen von Regionalflugplätzen, Weiterleiten an RP
- Einholen von Informationen von Regionalflugplätzen und Erledigen von Abklärungen gemäß Anweisung RP

In den Verfahren für den Regionalsektor Friedrichshafen und St. Gallen-Altenrhein (ARFA) im ATM-Manual, Band 2 ATC-Manual, ist unter dem Punkt 1 „Allgemeine Verfahren“ unter anderem festgelegt:

Die Radarführung auf den Endanflug erfordert die uneingeschränkte Aufmerksamkeit des Flugverkehrsleiters. Schon geringe Verzögerungen bei der Zuteilung von Headings können ein Luftfahrzeug in eine Position bringen, von wo ein Anflug nicht mehr möglich ist.

Entsprechend internen Absprachen zwischen den Lotsen - dem Management bekannt und von ihm toleriert - begibt sich der Lotse, der seinen zweiten Nachtdienst absolviert, in einen der Aufenthaltsräume zur Ruhe, wenn der Verkehr in der Nacht nachlässt. Er kommt im Regelfall erst mit dem Einsetzen des Verkehrs in den Morgenstunden in den Kontrollraum zurück. Da die Pausenräume außerhalb der Rufweite der Arbeitsplätze liegen, muss der Lotse, wird er am Arbeitsplatz benötigt, telefonisch gerufen werden.

Die beiden Dienst habenden Lotsen hatten ihren Dienst um 17:50 Uhr angetreten und waren vom Dienstleiter, der noch bis gegen 21:10 Uhr anwesend war, auf die bevorstehenden Arbeiten hingewiesen worden. Die schriftlich dazu ergangenen Weisungen waren den Lotsen, nach eigenen Aussagen, nicht bekannt.

Zum Zeitpunkt des Ereignisses war nur ein Lotse im Kontrollraum des ACC Zürich. Er hatte gleichzeitig die Aufgaben des RP, des RE und des Dienstleiters wahrzunehmen. Mit ihm im Kontrollraum war eine CA. Ihre Aufgabe war es, den Lotsen bei Routine- und Koordinierungsaufgaben zu unterstützen; sie hatte keine Aufgaben und Berechtigungen im Rahmen der Verkehrsführung.

Auf dem links befindlichen Arbeitsplatz (RP) war der gesamte Luftraum des ACC Zürich geschaltet. Auf dem rechten Arbeitsplatz (RE) hatte sich der Lotse für den Anflug auf Friedrichshafen den entsprechenden Bereich (ARFA-Sektor=Anflugsektor für St. Gallen-Altenrhein und Friedrichshafen) eingerichtet und die Frequenz 119.920 MHz geschaltet. Auf diesem Arbeits-

platz wurden alle Flugbewegungen innerhalb des eingestellten Bereiches und somit auch die B757-200 und die TU154M dargestellt. Auf dem Radarbildschirm des ARFA-Sektors wurden die Flugspuren mit hoher Wahrscheinlichkeit jeweils sichtbar:

- A320 ca. 21:30:52 Uhr
- TU154M ca. 21:29:52 Uhr
- B757-200 ca. 21:32:38 Uhr.

Um auf den jeweiligen Frequenzen (128.050 bzw. 119.920 MHz) senden zu können, war es erforderlich, den Arbeitsplatz zu wechseln (siehe Bild).

Der andere zur Schicht gehörende Lotse verließ gegen 21:15 Uhr, nach gegenseitiger Absprache, den Kontrollraum und begab sich in einen Aufenthaltsraum zur Ruhe. Ca. 10 Minuten später verließ auch der zweite Assistent den Kontrollraum.

Aus- und Weiterbildung der Flugverkehrsleiter (ATCO)

Die Ausbildung der ATCOs erfolgt in der Schweiz über eine zentrale Ausbildungseinrichtung des Flugsicherungsunternehmens. Nach Beendigung der Ausbildung an der Ausbildungseinrichtung arbeiten die ATCOs bis zur Erlangung der Berechtigung unter Aufsicht für den jeweiligen Dienst und danach selbständig.

Die Weiterbildung erfolgt über ein Kontinuitätstraining an „Refreshertagen“. In der Regel nehmen die ATCOs an zwei „Refreshertagen“ im Jahr teil. Die Teilnahme der Lotsen ist obligatorisch und wird von der Einsatzplanung organisiert. Dieses Kontinuitätstraining kann an der Simulationseinrichtung, aber auch als Unterweisung in neue Verfahren, neue Luftraumstrukturen oder neu gestaltete technische Einrichtungen stattfinden.

Weiterhin finden periodische Überprüfungen („Periodical-Checks“) im Rahmen der jährlichen Lizenzerneuerung statt. Dabei wird das theoretische Wissen der ATCOs im Multiple-Choice-Verfahren überprüft. Bei diesen Checks dürfen alle Handbücher verwendet werden. Eine Zeitbegrenzung ist nicht vorgegeben. Bestanden ist der Check, wenn mindestens 85% aller Fragen richtig beantwortet wurden. Praktische Überprüfungen wurden bisher nicht durchgeführt.

Ebenso werden relevante Informationen und dienstliche Weisungen im Briefingraum ausgelegt sowie ständig aktualisiert. Die ATCOs sind verpflichtet, diese Informationen zu lesen. Dafür sind täglich 10 Minuten im Dienstplan vorgesehen. Einen Nachweis, dass sich der ATCO informiert hat, gibt es nicht.

Zusätzliche Erkenntnisse:

- Als sich der zweite Lotse zur Ruhe begab, war beiden Lotsen nicht bekannt, dass ein verspäteter Airbus A320 noch Friedrichshafen anfliegen würde.
- Die Freigabe des Lotsen an die Crew der B757-200, das VOR TANGO auf direktem Wege anzufliegen, war bis zum Zusammenstoß mit UAC (**U**pper **A**rea **C**ontrol) Karlsruhe nicht koordiniert worden.
- Im MV-Rechner des ACC Zürich wurde um 21:35:00 Uhr eine akustische STCA-Meldung generiert, die an den Arbeitsplatz RE SUED adressiert war. Sie ist von keinem der im Kontrollraum anwesenden Mitarbeiter gehört worden. Spätere technische Überprüfungen ergaben keinen Hinweis auf eine diesbezügliche Fehlfunktion.
- Die Meldung der Crew der B757-200 um 21:35:19 Uhr, dass sie einen Sinkflug aufgrund einer TCAS-Anweisung („TCAS descent“) eingeleitet habe, wurde vom Lotsen nicht wahrgenommen.
- Innerhalb des ACC Zürich war „*Single Manned Operation*“ eingeführt worden. Die grundsätzlichen Bestimmungen (*Single Manned Operation Procedures – SMOP*) sind in der Anlage 9 des Berichtes veröffentlicht.

1.17.2 Luftfahrtunternehmen der B757-200

Das Luftfahrtunternehmen der B757-200 ist im Besitz eines am 20. Mai 1996 durch das Königreich von Bahrain ausgestellten AOC. Es operiert seit 1979 von dem Flughafen „Bahrain International Airport“ und ist Teil eines weltweit operierenden Luftfrachtunternehmens.

Mit den Flugzeugen werden nationale und internationale Flüge (Linien- und Charterflüge) zur Frachtbeförderung von und nach Europa, Asien, den mittleren Osten und Afrika durchgeführt.

Gegenwärtig kommen unter bahrainischer Zulassung zum Einsatz: eine Fairchild Metro SA-227 und eine Boeing 757-200PF. Ein Airbus A300-600F und vier Antonow AN12s mit den dazugehörenden Besatzungen wurden angemietet (wet lease). Als der Flugbetrieb 1996 mit Strahlflugzeugen begann, wurde eine B757-200 in die Flotte eingeführt, um tägliche Flüge zwischen Bahrain und Europa durchzuführen.

1.17.3 Luftfahrtunternehmen der TU154M

Das Luftfahrtunternehmen der TU154M ist im Besitz eines von der Russischen Föderation am 13. Mai 2002, Nummer 32/04, ausgestellten Luftverkehrsbetreiberzeugnisses (AOC). Es operiert vom Flughafen Ufa in Bashkortostan aus.

Es setzt seine Flugzeuge zur nationalen und internationalen Personen- und Frachtbeförderung und zur Luftarbeit im Linien- und Charterverkehr in Afrika, im Nahen Osten, in Europa, in Zentral- und Südostasien sowie in den GUS-Staaten (Gemeinschaft unabhängiger Staaten) ein.

Im Flugbetrieb werden die folgenden Flugzeugmuster, in Klammern jeweils die Anzahl der vorhandenen Flugzeuge, eingesetzt:

TU154M (9), TU134A (2), AN24RV (1), AN74 (2), MI34C (3) und MI8T (6).

1.18 Zusätzliche Informationen

1.18.1 Das Flugsicherungsunternehmen der Schweiz

Das Flugsicherungsunternehmen wurde 2001 gegründet und war Nachfolger der ehemaligen staatlichen Flugsicherung „Swisscontrol“. Das Flugsicherungsunternehmen war ein ausgereiftes Unternehmen aber durch die Privatisierung und Umstrukturierung großen Veränderungen unterworfen gewesen. Es wurde nicht mehr staatlich finanziert und hatte seine wirtschaftliche Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten und nachzuweisen.

Das Fundament war das eines etablierten Flugverkehrsdienstes, da es die Flugsicherungsstrukturen und Verfahren von seinem Vorgänger übernommen hatte. Dabei war es notwendig, alle Betriebsbereiche in Übereinstimmung mit den Vorschriften und den aktuellen Entwicklungen aufrecht zu erhalten, zu fördern und zu verbessern.

Sicherheitsgrundsätze des Flugsicherungsunternehmens

Das Unternehmen hatte Sicherheitsgrundsätze („Safety Policy“) entwickelt und mit Datum vom 23. Oktober 2001 herausgegeben.

Nachfolgend werden einige ausgewählte Abschnitte zitiert:

2. Principles:

- 2.1 The safety of Air Navigation will be given the highest priority. An explicit, pro-active approach to Safety Management will ensure reasonable assurance of maintaining optimum levels of safety in the development, implementation and continued function of the [...] operation.
- 2.2 All staff have an individual responsibility for their own actions whilst Managers are responsible for the Safety Performance of their own divisions.
- 2.3 All staff members performing activities with safety related implications will be adequately trained, motivated and competent to undertake the tasks required of them, and properly licensed where appropriate.

3. Description:

- 3.1 Quantitative Safety Levels – meeting appropriate and agreed target levels of safety – will be derived for all systems.
- 3.2 New systems and changes to existing systems, operations and procedures (including Engineering systems) will be regularly assessed for their safety significance and safety criticality.
The results of these safety assessments will be documented in an appropriate manner allied to the requirements of the established quality environment.
- 3.3 To provide Safety Assurance, Safety Audits will be performed routinely in order to confirm conformance with applicable parts of the Safety Management System and to provide as-

- insurance to Managers that the continued operations and risks are identified, conform to appropriate safety levels and are being adequately managed.
- 3.4 Reflecting best Safety Practice – these Safety Audits will enable appropriate measures to be taken for the attainment and maintenance of the agreed Target Safety Levels.
 - 3.5 [...]
 - 3.6. A Safety Culture will be promoted which will aim, amongst other objectives, at disclosing mistakes and motivating all staff members to endeavour to constantly improve safety through their own individual contributions. An integral part of this enhancement may be the adoption of a unique and non punitive company confidential reporting scheme.
 - 3.7 An enhanced Safety Culture will ensure that the lessons and experience gained from safety related investigative processes will be widely distributed and actioned to minimise the residual risk of reoccurrence.

1.18.2 Flugsicherung Karlsruhe

Der Flug der B757-200 war dem UAC Karlsruhe um 21:21:02 Uhr als ACT (Activation message) automatisch von Zürich gemeldet worden. Ab 21:27:04 Uhr wurde das Flugzeug - noch im Steigflug - auf dem Monitor dargestellt.

Gleichzeitig wurde ein Flugziel mit Transpondercode 7520 - das nicht identifiziert wurde - als kreuzender Verkehr aus Richtung Kempten VOR kommend in FL 360 in Richtung Trasadingen VOR fliegend beobachtet.

Um 21:33:24 Uhr löste das STCA einen Alarm aus. Der Lotse alarmierte seinen Wachleiter und versuchte über die direkte Telefonleitung mit ACC Zürich Kontakt aufzunehmen und den dortigen Lotsen zu warnen. Von 21:33:36 Uhr an versuchten die Lotsen insgesamt 11-mal vergeblich - auch unter Nutzung der Prioritätstaste - Zürich zu erreichen. Von 21:33:36 bis 21:34:45 Uhr war jeweils ein Besetztzeichen, danach ein Freizeichen zu hören. Ein Anruf über das öffentliche Telefonnetz - die Nummer ist im LoA (Letter of Agreement) veröffentlicht - wurde aus Zeitgründen nicht durchgeführt.

Die Kollision der beiden Flugzeuge wurde auf den Radarmonitoren beobachtet.

Die UAC Karlsruhe kann die internationale Notfrequenz 121.50 MHz rasten. Auf dieser Frequenz wäre es theoretisch möglich gewesen, eine allgemeine Warnung an die Flugzeuge zu senden. Diese Möglichkeit wurde vom UAC Karlsruhe nicht in Betracht gezogen, weil die Voraussetzungen dafür nicht erfüllt waren. Bevor Aktivitäten außerhalb des eigenen Zuständigkeitsbereiches eingeleitet werden, müssen sie nach den geltenden Vorschriften mit dem zuständigen Lotsen koordiniert werden, der aber nicht erreichbar war.

Ob die Frequenz 121.50 MHz bei einem oder bei beiden Flugzeugen gerastet war, konnte nicht festgestellt werden.

1.18.3 Flugsicherung München

Die Führung des Fluges der TU154M war um 21:15 Uhr von Wien Radar übernommen worden. Um 21:29:54 Uhr wies der Lotse vom ACC München die Crew an, mit dem ACC Zürich auf 128.050 MHz Kontakt aufzunehmen. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Flugzeug nördlich des Kempten VOR. Die Crew bestätigte die Anweisung und verabschiedete sich.

Ab 21:31:00 Uhr war die Übernahme der Kontrolle durch ACC Zürich auf dem Radarschirm des ACC München durch den Wechsel des Transpondercodes auf 7520 erkennbar. Da das Flugzeug nun auch den Zuständigkeitsbereich verließ, wurde es nicht weiter beobachtet. Kurz darauf verließ es auch den eingestellten Bereich auf dem Radarmonitor, sodass die Kollision nicht beobachtet wurde.

1.18.4 ACAS/TCAS

1.18.4.1 Einführung

Historische Entwicklung von ACAS/TCAS

Das Airborne-Collision-Avoidance-System (ACAS) wurde im Jahr 1993 nach verschiedenen Konzeptstudien durch die International Civil Aviation Organization (ICAO) im Annex 2 als Standard beschrieben. Die Weiterentwicklung davon (ACAS II) wurde 1995 durch die ICAO als „Standards and Recommended Practices“ (SARPs) verabschiedet.

In Europa war Eurocontrol wesentlich an der Entwicklung und Implementierung von ACAS beteiligt.

Parallel zu der Entwicklung von ACAS auf Basis des ICAO Standards wurde in den USA das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) entwickelt. ACAS und TCAS waren als bordautonome und von Navigationsanlagen unabhängige Systeme ausgelegt, jedoch nicht kompatibel zueinander.

Erst mit der Entwicklung von TCAS II, Version 7 wurde eine Kompatibilität zu den Anforderungen von ACAS hergestellt.

Anmerkung:

Im Folgenden wird anstelle des ICAO- Begriffes „ACAS“ überwiegend der Begriff TCAS verwendet, der durch die amerikanischen Gerätehersteller international eingeführt wurde.

Eine Häufung von Unfällen und Fastzusammenstößen im amerikanischen Luftraum führte bereits ab 30. Dezember 1993 für den Geltungsbereich der USA zur gesetzlichen Ausrüstungspflicht mit TCAS II von zivilen Luftfahrzeugen mit mehr als 30 Sitzplätzen.

In Europa wurde im Einvernehmen mit allen Eurocontrol-Mitgliedsstaaten die Einführung einer Pflichtausrüstung mit ACAS beschlossen. Eurocontrol hatte daraufhin 1995 das grundsätzliche Vorgehen zur ACAS-Ausrüstungsverpflichtung in Europa beschlossen und die Einführung in zwei Stufen vorgeschlagen.

1. Stufe:

Ausrüstungspflicht für Flugzeuge mit mehr als 30 Sitzplätzen bzw. in der Gewichtsklasse über 15 000 kg ab 1. Januar 2000.

2. Stufe:

Ausrüstungspflicht für Flugzeuge mit mehr als 19 Sitzplätzen bzw. in der Gewichtsklasse über 5 700 kg ab 1. Januar 2005.

Um eine zeitgerechte und koordinierte Einrüstung von ACAS für alle betroffenen Flugzeuge auch tatsächlich zu ermöglichen, wurde eine „Implementation Transition Period“ bis zum 31. März 2001 vereinbart. Um auch letzte Schwierigkeiten bei der Einführung von ACAS zu bewältigen, wurde für Einzelfälle eine Ausnahmeregelung bis zum 30. September 2001 geschaffen.

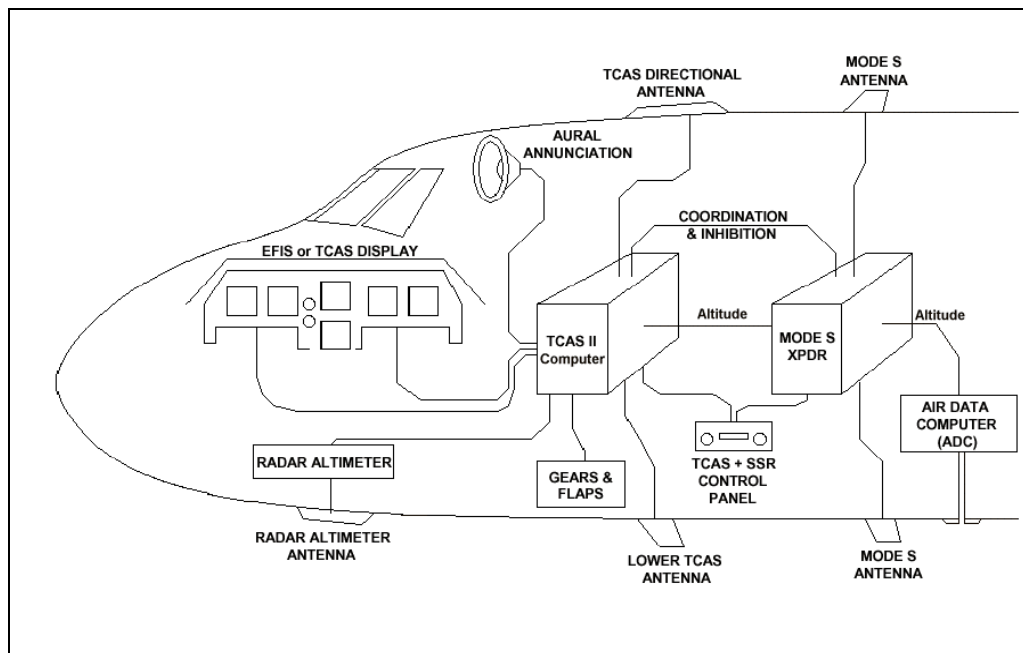
Damit wurde definitiv festgelegt, dass nicht mit ACAS ausgerüstete Flugzeuge der Stufe 1 nach dem 30. September 2001 im Luftraum der European Civil Aviation Conference (ECAC) nicht mehr fliegen durften.

Systembeschreibung

TCAS ist ein bodenunabhängig arbeitendes Zusammenstoß-Warngerät. Es arbeitet unabhängig von der Navigationsausrüstung des Flugzeuges und von den Piloten. TCAS nutzt die Transponder (Mode C bzw. S) anderer Flugzeuge als Informationsquelle, besitzt eigene Sende/Empfangs/Peilanlagen und Rechner zur schnellen Ermittlung von Flugbahnen und Generierung von Kommandos für die Piloten.

Der TCAS-Gerätesatz ist an Bord eines Luftfahrzeuges nur einmal vorhanden, d.h. eine Redundanz für ausfallfreien Betrieb ist nicht gegeben. Es ist nach der MEL (**M**inimum **E**quipment **L**ist) zulässig, ein Luftfahrzeug mit ausgefallenem TCAS bis zu 10 Tagen weiterzubetreiben.

Der TCAS-Gerätesatz besteht aus folgenden Komponenten:



TCAS Systemkomponenten

TCAS II-Computer

Er steuert die Peilung über die Richtantenne(n), ermittelt den Peilwinkel (Bearing) und die Entfernung mittels einer Laufzeitmessung. Er führt eine Überwachung des umgebenden Luftraums aus, verfolgt die Flugbahnen der anderen Flugzeuge, erkennt Kollisionsgefahren, ermittelt Ausweichmanöver und generiert die Kommandos (advisories) dafür.

TCAS- und Transponder-Control-Panel

Gemeinsames Bediengerät für TCAS und Transponder. Es besitzt für TCAS einen Drehschalter mit 3 Positionen:

- | | | |
|---|----------------------|---|
| 1 | TCAS off | Gerät ist ausgeschaltet |
| 2 | TA only | nur „traffic Advisories“ werden generiert |
| 3 | Automatic oder TA/RA | uneingeschränkter Betrieb der TCAS-Anlage |

Zwei Antennen (oben und unten am Flugzeugrumpf)

Die obere Antenne ist eine Richtantenne.

Die TCAS-Sende- und Empfangskanäle bilden das Gegenstück zum Transponder.

Sendefrequenz: 1030 MHz zur Abfrage der Transponder

Empfangsfrequenz: 1090 MHz für die Transponder-Antworten

Verbindung zum Mode S-Transponder

In der Datenübertragung von TCAS zum Mode S Transponder ist der Zeitpunkt und die Richtung einer RA enthalten.

Der TCAS-Computer erhält die vom Air-Data-Computer gemessene Flughöhe über den Mode S Transponder unter Benutzung eines Datenbusses nach dem ARINC-429-Standard.

Verbindung zum Funkhöhenmesser (Radar-Altimeter)

Der TCAS-Computer erhält die durch Funkwellen ermittelte Höhe des Flugzeuges über Grund zur Vermeidung von Ausweichkommandos in Bodennähe.

Lautsprecher

Er alarmiert die Crew durch die Sprachausgabe der TA-s und RA-s.

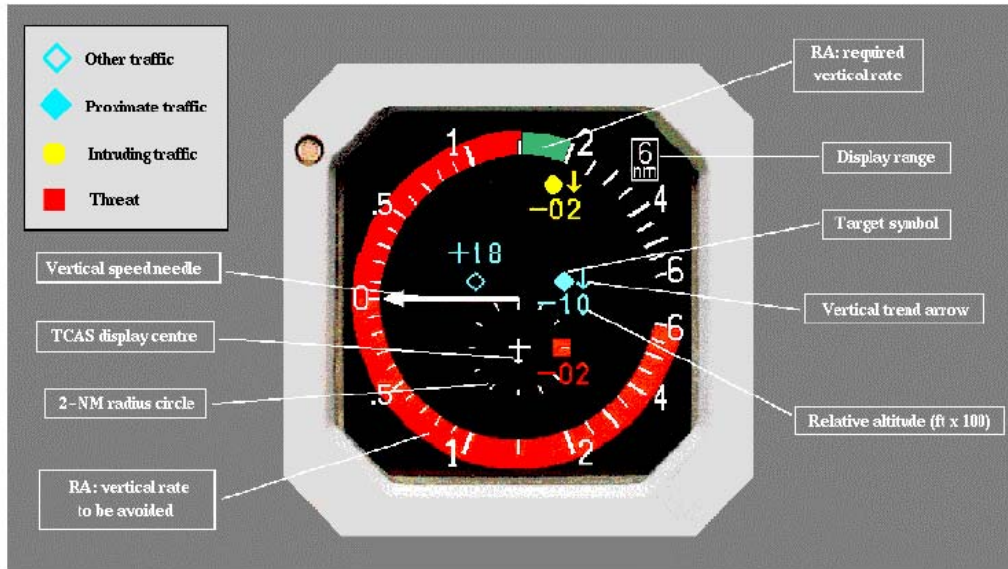
Displays im Cockpit

Der Flugverkehr in dem von TCAS überwachten Luftraum wird auf Displays dargestellt. Die Piloten können die relative Position, die relative Flughöhe und den Trend der relativen Flughöhe der anderen Flugzeuge beobachten.

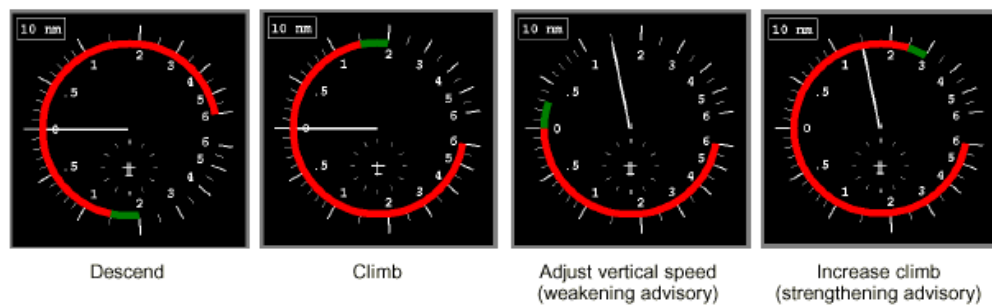
Flugzeuge mit nachträglich erfolgter TCAS-Ausrüstung:

Die Darstellung erfolgt auf zusätzlich eingebauten Instrumenten oder Kombinationen anstelle klassischer Flugzeuginstrumente.

Häufigste Variante der Installation: Ein VSI/TRA mit integrierter TCAS-Anzeige anstelle eines herkömmlichen Variometers. Neben der eigenen Steig-/Sinkgeschwindigkeit werden Position und Bewegung von einem oder mehreren überwachter Flugzeuge und deren relativer Höheninformation dargestellt



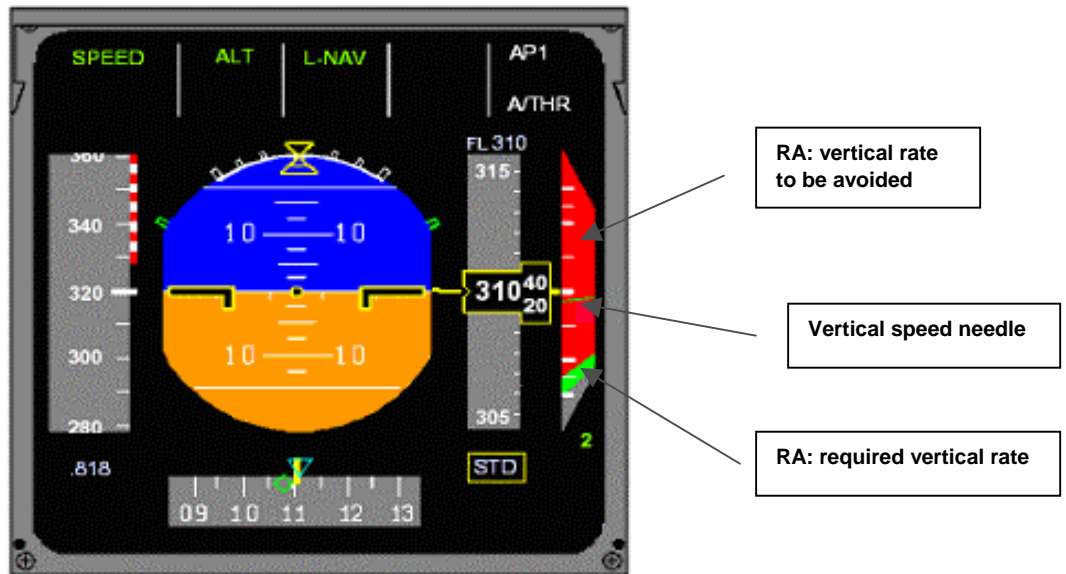
VSI mit TCAS-Anzeige



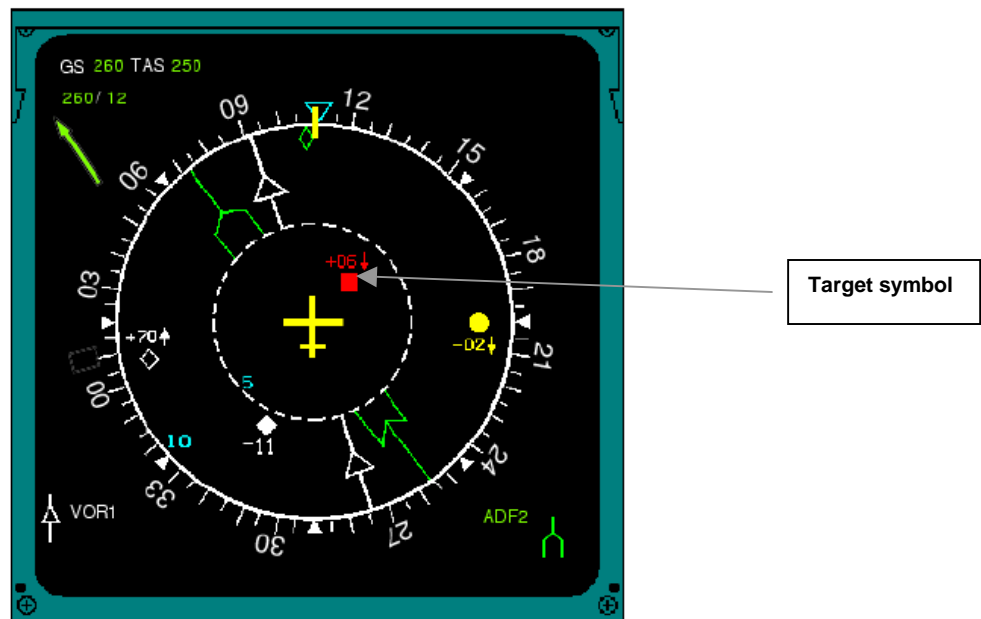
Darstellung der wichtigsten TCAS-Kommandos auf dem VSI/TRA

Flugzeuge mit EFIS (Electronic-Flight-Instrument-System)

Die Darstellung kann auf dem PFD (Primary-Flight-Display) und dem ND (Navigation-Display) erfolgen.



RA auf dem PFD



EFIS-Navigations-Display im „ROSE-Mode“ mit TCAS-Darstellung

Die Logik der Verhinderung von Zusammenstößen (Collision-Avoidance-Logic)

Die Verfolgung der Flugbahnen der im Überwachungsbereich befindlichen Luftfahrzeuge ist die Basis für das **CAS** (Collision-Avoidance-System).

Das TCAS-System überwacht den Luftraum bis 40 NM vor dem Flugzeug, bis 15 NM hinter dem Flugzeug, bis 20 NM seitlich des Flugzeugs und bis ca. 9 000 ft oberhalb bzw. unterhalb des eigenen Flugzeuges.

TCAS verfolgt die Flugbahnen aller Luftfahrzeuge mit in Betrieb befindlichen Transpondern im Überwachungsbereich und errechnet mögliche Konflikte. Diese Berechnungen basieren auf folgenden Parametern:

- Slant range (Schrägentfernung)
- Bearing (Peilwinkel)
- Closure-Rate (Annäherungsgeschwindigkeit)
- Altitude (Flughöhe)
- Vertical Speed (vertikale Geschwindigkeit).

Die CAS-Logik errechnet voraussichtliche Flugpfade der anderen Flugzeuge. Ein Konflikt wird durch den CPA (closest point of approach) bestimmt, an dem die notwendige Sicherheitsentfernung zu dem anderen Flugzeug nicht eingehalten werden kann. In diesem Fall besteht Kollisionsgefahr. Die verbleibende Zeit bis zu diesem CPA wird jede Sekunde neu berechnet. Wenn diese Zeit bis zum CPA unter vorgegebene Werte sinkt, wird die CAS-Logik Kommandos ausgeben. Diese vorgegebenen Werte sind z.B. für Flugflächen >200: 48 Sekunden für eine TA und 35 Sekunden für eine RA.

Das TCAS-System koordiniert die RAs in den am Ausweichmanöver beteiligten Flugzeugen, so dass diese praktisch gleichzeitig generiert werden. Die RAs sind immer gegensätzlich in ihrer Richtung, d.h. in dem einen Flugzeug wird Steigflug und dem anderen wird Sinkflug angewiesen. Ausweichmanöver geschehen nur vertikal.

Art des Kommandos (Advisory type)	Richtung Sinken (Downward sense)	Richtung Steigen (Upward sense)
TA	traffic, traffic	
Initial preventive RA	Monitor vertical speed	Monitor vertical speed
Corrective RA	Descend, descend	Climb, climb
Strengthening RA	Increase descend , increase descend	Increase climb, increase climb
Weakening RA	Adjust vertical speed, adjust	Adjust vertical speed, adjust
Reversing sense RA	Descend, descend now	Climb, climb now
RA with altitude crossing	Descend, crossing descend, descend, crossing descend	Climb, crossing Climb, Climb, crossing, Climb
RA to maintain vertical speed	Maintain vertical speed, maintain	Maintain vertical speed, maintain
RA to maintain vertical speed with altitude crossing	Maintain vertical speed, crossing maintain	Maintain vertical speed, crossing maintain
RA to reduce vertical speed	Adjust vertical speed, adjust	Adjust vertical speed, adjust
RA termination message	Clear of conflict	

TCAS-Anzeigen und -Kommandos

Nachträgliche Korrekturen der RA

Die CAS-Logik kann nach der ersten RA weitere RAs generieren, um das Ausweichmanöver sich verändernden Bedingungen anzupassen.

„Increase (Erhöhung der Steig- oder Sinkrate) bzw. „Adjust“ (Verringerung der Steig- oder Sinkrate). Dazu gehört bei TCAS II, Version 7 auch das „Reversal“, eine Umkehrung der ursprünglichen Ausweichrichtung.

Wenn die Kollisionsgefahr abgewendet wurde, generiert TCAS in beiden Luftfahrzeugen die akustische Mitteilung „clear of conflict“.

Die Konzeption der TCAS – Ausweichmanöver erfordern folgende Werte für der Steig-/Sinkgeschwindigkeit:

RA Richtung Sinken (Downward sense)		RA Richtung Steigen (Upward sense)	
Geforderte Sinkrate (Required rate)	Kommando (Advisory)	Kommando (Advisory)	Geforderte Steigrate (Required rate)
-2500 ft/min	Increase descend	Increase Climb	+2500 ft/min
-1500 ft/min	Descend	Climb	+1500 ft/min
-1500 ft/min	Reversal descend	Reversal Climb	+1500 ft/min
-1500 ft/min	Crossing descend	Crossing Climb	+1500 ft/min
-4400 ft/min < V/S < - 1500 ft/min	Maintain descend	Maintain Climb	+4400 ft/min > V/S > +1500 ft/min
V/S < 0 ft/min	Don't climb	Don't descend	V/S > 0 ft/min
V/S < +500 ft/min	Don't climb > 500 ft/min	Don't descend > 500 ft/min	V/S > -500 ft/min
V/S < +1000 ft/min	Don't climb > 1000 ft/min	Don't descend > 1000 ft/min	V/S > -1000 ft/min
V/S < +2000 ft/min	Don't climb > 2000 ft/min	Don't descend > 2000 ft/min	V/S > -2000 ft/min

Eine im System TCAS vorgesehene automatische Übermittlung (downlink), die die Flugsicherung über ausgelöste RA's informiert, ist noch nicht aktiviert.

Operationelle Verfahren

Wenn an Bord eines Flugzeuges vom TCAS eine TA herausgegeben wird, so ertönt im Cockpit eine synthetische Stimme „traffic, traffic“ und auf der TCAS-Anzeige wird das kreisförmige Symbol des möglichen Konfliktflugzeuges (Intruder) mit gelber Farbe ausgefüllt. Des Weiteren sind dem Symbol eine relative Höhe (ft x 100) und bei einem Steigen oder Sinken ein vertikaler Trendpfeil in der entsprechenden Richtung, bezogen auf das eigene Flugzeug beigefügt.

Wenn die TA in eine RA überwechselt, wechselt das kreisförmige Symbol auf der TCAS - Anzeige in ein rot markiertes (ausgefülltes) Quadrat und eine Anweisung, dem Konfliktverkehr (Threat) auszuweichen, wird herausgegeben.

- Wird eine Anweisung zum Steigen herausgegeben, so ertönt im Cockpit eine synthetische Stimme mit der Anweisung „climb, climb“, auf dem äußeren Rand des Variometers wird ein grüner Bereich von 1 500 bis 2 000 ft/min abgebildet und der Bereich von – 6 000 bis 1 500 ft/min wird rot markiert.
- Wird eine Anweisung zum Sinken herausgegeben, so ertönt eine synthetische Stimme mit der Anweisung „descend, descend“, ein grüner Bereich von –1 500 bis –2 000 ft/min wird abgebildet und der Bereich von – 1 500 bis 6 000 ft/min wird rot markiert.

Wenn vom TCAS eine RA mit der Aufforderung zum stärkeren Steigen herausgegeben wird, so ertönt eine synthetische Stimme mit der Anweisung „increase climb, increase climb“. Auf dem äußeren Rand des Variometers verändert sich der grüne Bereich des Steigens auf 2 500 bis 3 000 ft/min und der Bereich 2 500 bis – 6 000 ft/min wird rot markiert.

Bei einer Anweisung „increase descent, increase descent“ verändert sich der grüne Bereich des Sinkens auf – 2 500 bis – 3 000 ft/min und der Bereich von – 2 500 bis 6 000 ft/min wird rot markiert.

Publikationen der ICAO

Aufgrund der internationalen Bedeutung von TCAS haben ICAO-Standards und Empfehlungen eine herausgehobene Bedeutung. ACAS/TCAS II wird in den folgenden Dokumenten der ICAO behandelt, die am 1. Juli 2002 veröffentlicht waren:

- Annex 2 – Rules of the Air, Chapter 3
- Annex 10 – Aeronautical Telecommunications, Volume IV – Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems, Attachment A
- Annex 11 Air traffic Services
- Procedure for Air Navigation Services – Aircraft Operations, Volume I, Flight Procedures (Doc 8186, PANS-OPS)
- Procedure for Air Navigation Services – Air Traffic Management (Doc 4444, PANS-ATM)
- State letter AN 11/19-02/82

Die ICAO hat hinsichtlich der Verfahrensweise bei TCAS-RAs und der Verantwortung für die Staffelung Folgendes ausgeführt:

Annex 2

(Rules of the Air, Chapter 3, 3.2.2 Right-of-way)

The aircraft that has the right-of-way shall maintain its heading and speed, but nothing in these rules shall relieve the pilot-in-command of an aircraft from the responsibility of taking such action, including collision avoidance manoeuvres based on resolution advisories provided by ACAS equipment, as will best avert collision.

Annex 10

(Attachment A, paragraph 3.5.8.10.3)

Contrary pilot response. Manoeuvres opposite to sense of an RA may result in a reduction in vertical separation with the threat aircraft and therefore must be avoided. This is particularly true in the case of an ACAS-ACAS co-ordinated encounter.

Annex 11

(ICAO-Annex 11 – Air traffic Services, Chapter 2 - General, Paragraph 2.4)

The carriage of airborne collision avoidance systems (ACAS) by aircraft in a given area shall not be a factor in determining the need for air traffic services in that area.

Doc 8186, PANS-OPS

(Chapter 3, Operation of ACAS Equipment)

3.1 General

3.1.1 The information provided by airborne collision avoidance System (ACAS) is intended to assist pilots in the operation of aircraft.

3.1.2 Nothing in the procedures specified in 3.2 hereunder shall prevent pilots-in-command from exercising their best judgement and full authority in the choice of the course of action to resolve a traffic conflict.

3.2 Use of ACAS Indications

ACAS indications are intended to assist the pilots in the active search for, and visual acquisition of, the conflicting traffic, and the avoidance of potential collisions. The indications generated by ACAS shall be used by pilots in conformity with the following safety considerations:

a) pilot shall not manoeuvre their aircraft in response to traffic advisories only;

Note 1. – [...]

Note 2. - [...]

- b) *in the event of a resolution advisory to alter the flight path, the search for the conflicting traffic shall include a visual scan of the airspace into which own ACAS aircraft might manoeuvre;*
- c) *the alteration of the flight path shall be limited to the minimum extent necessary to comply with the resolution advisories.*
- d) *pilot who deviate from an air traffic control instruction in response to a resolution advisory shall promptly return to the terms of that instruction or clearance when the conflict is resolved and shall notify the appropriate ATC unit as soon as practicable, of the deviation, including its direction and when the deviation has ended.*

Note.- The phraseology to be used for the notification of manoeuvres in response to a resolution advisory is contained in the PANS-ATM (Doc 4444), Chapter 12.”

Doc 4444, PANS-ATM

(Procedures for Air Navigation Services B Air traffic Management)

The procedures to be applied for the provision of air traffic services to aircraft equipped with ACAS shall be identical to those applicable to non-ACAS equipped aircraft. In particular, the prevention of collisions, the establishment of appropriate separation and the information which might be provided in relation to conflicting traffic and to possible avoiding action shall conform with the normal ATS procedure and shall exclude consideration of aircraft capabilities dependent on ACAS equipment.

15.6.3.2

When a pilot reports a manoeuvre induced by an ACAS resolution advisory, the controller shall not attempt to modify the aircraft flight path until the pilot reports returning to the terms of the current air traffic control instructions or clearance but shall provide traffic information as appropriate.

15.6.3.3

Once an aircraft departs from its clearance in compliance with a resolution advisory, the controller ceases to be responsible for providing separation between that aircraft and any other aircraft affected as a direct consequence of the manoeuvre induced by the resolution advisory. The controller shall resume responsibility for providing separation for all the affected aircraft when:

- a) *the controller acknowledges a report from the flight crew that the aircraft has resumed the current clearance; or*
- b) *the controller acknowledges a report from the flight crew that the aircraft is resuming the current clearance and issues an alternative clearance which is acknowledged by the flight crew.”*

Section 20.02

(Responsibility for separation of aircraft during manoeuvres in compliance with a resolution advisory)

The use of ACAS II does not alter the respective responsibilities of pilots and controllers for the safe operation of aircraft.

On being notified that a aircraft, under air traffic control, is manoeuvring in accordance with a resolution advisory (RA), a controller should not issue instructions to that aircraft which are contrary to the RA as communicated by the pilot. Once an aircraft departs from the current ATC clearance in compliance with an RA, the controllers cease to be responsible for providing separation between that aircraft and other aircraft affected as a direct consequence of the manoeuvre induced by the RA.

However, when circumstances permit, the controller should endeavour to provide traffic information to aircraft affected by the manoeuvre. The controller’s responsibility for providing separation for all the affected aircraft resumes when:

1. *the controller acknowledges a report from the pilot that the aircraft has resumed the current clearance; or*
2. *the controller acknowledges a report from the pilot that the aircraft is resuming the current clearance and issues an alternative clearance which is acknowledged by the flight crew.*

State letter AN 11/19-02/82

In dem „State Letter“ sind Anforderungen an das Training für ACAS ausführlich beschrieben. Unter anderem ist Simulatortraining für Flugbesatzungen gefordert:

3.2 ACAS manoeuvres training

3.2.3 b) RA responses

[...]

“3) for corrective RAs, the response is initiated in the proper direction within 5 seconds of the RA being displayed. The change in vertical speed is accomplished with an acceleration of approximately ¼ g.”

TCAS 2000/TCAS II Traffic Collision and Avoidance System „Pilots Guide“

In dem TCAS 2000 „Pilots Guide“ des Herstellers waren Funktionsweise, Bedienung und Verfahrensanweisungen beschrieben.

Im Kapitel Einführung („Introduction“) war die Systemphilosophie von TCAS u.a. mit dem Satz: TCAS 2000 is a backup to the ATC (Air traffic Control) system and the „see and avoid“ concept beschrieben.

Im Kapitel 6.1 „Pilot Responsibilities“ war u.a. Folgendes ausgeführt:

- *TCAS 2000 is intended as a backup to visual collision avoidance, application of „right-of-way rules“, and Air traffic Control separation service.*
- *.....*
- *If a TCAS 2000 RA requires maneuvering contrary to an ATC clearance, satisfy the RA in a way that most nearly complies with the ATC clearance. If it is possible to both respond to a TCAS 2000 RA and continue to satisfy a clearance at the same time, you may do so. For example, you may respond to a climb RA while continuing to satisfy an ATC clearance to intercept a localizer.*
- *If a TCAS 2000 RA maneuver is inconsistent with the current ATC clearance, the pilot:*
 - *Must not delay in responding the RA*
 - *Must not modify a response to an RA*
 - *Must follow the RA maneuver, unless invoking „Emergency Pilot Authority“*
 - *Must provide a vertical rate that minimizes ATC deviations*
- *.....*
- *If a TCAS 2000 RA requires maneuvering contrary to right-of-way rules, cloud clearances rules while VFR, Flight Handbook limitations, or other such criteria, pilots may, and are expected to, follow the TCAS 2000 RA´s to resolve the immediate traffic conflict.*

Das „Pilots Guide“ mit den oben angeführten Textpassagen war vom Hersteller in englischer und russischer Sprache herausgegeben worden.

Flugbetriebsanleitung für die TU154M

In der Flugbetriebsanleitung für die TU154M („РУКОВОДСТВО ПО ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТУ154М“), Abschnitt 8.18.3.4, vom 6. Dezember 1999, war die Bedeutung von TCAS mit folgendem Text beschrieben:

(1) ...

(2) *Zur Verhütung von Flugzeugkollisionen in der Luft ist die visuelle Kontrolle der Situation im Luftraum durch die Crew und die korrekte Ausführung sämtlicher Anweisungen der Flugverkehrskontrolle als Hauptmittel anzusehen. Das TCAS-System ist ein zusätzliches Mittel, dass die rechtzeitigen Feststellung entgegenkommender Flugzeuge, die Klassifizierung des Gefahrenpotentials und, falls erforderlich, die Ausarbeitung eines Kommandos zur Durchführung eines vertikalen Manövers gewährleistet.*

Publikationen von Eurocontrol

Aufgrund der Vorgaben der ICAO war Eurocontrol maßgeblich an der Entwicklung und Umsetzung des ACAS beteiligt und hat dazu eine Vielzahl von Veröffentlichungen publiziert, die jedoch ausschließlich den Charakter einer Beschreibung oder Empfehlung haben. Dazu gehörten unter anderem:

Aeronautical Information Circular (AIC)

Das im Januar 1996 veröffentlichte Dokument war an die ECAC-Staaten gerichtet. Mit dieser Publikation wurde ACAS und die Einführung des Systems in Europa beschrieben.

WP - 6-1 – ACAS II-Programm

Die durch die Eurocontrol ACAS-Arbeitsgruppe erstellte Broschüre wurde 1999 als zusammenfassende Grundlage der technischen und betrieblichen Aspekte zur Einführung von ACAS veröffentlicht. Das Dokument sollte als Informationsmaterial für Personen dienen, die an der Einführung und dem Betrieb von ACAS beteiligt waren.

Publikationen der JAA

Die JAA hat im Oktober 1998 das Leaflet No. 11 „Guidance for Operators on Training Programmes for the use of Airborne Collisions Avoidance Systems (ACAS)“ herausgegeben.

Als Ergebnis der Diskussionen mit der ICAO über die Einführung von ACAS wurden in dem Leaflet Trainingsaspekte für Luftfahrzeugführer beschrieben. Dabei wurden die Trainingsbereiche „Theory of operation, pre-flight operations, general in-flight operations, response to traffic advisories (TAs), response to resolution advisories (RAs)“ berücksichtigt.

Unter anderem ist in dem Abschnitt „RA Responses“ beschrieben:

3.2.3b. (iii)

For corrective RAs, the response is initiated in the proper direction within the 5 seconds of the RA being displayed. The change in vertical speed is accomplished with an acceleration of approximately $\frac{1}{4}$ g.

3.2.3b (ix)

The controller is informed of the RA as soon as time and workload permit using the standard phraseology.

3.2.3b (x)

When possible, an ATC clearance is complied with while responding to an RA [...]

Note 3:

If pilots simultaneously receive instructions to manoeuvre from ATC and an RA which are in conflict, the pilot should follow the RA.

Nationale Vorschriften und Verfahren

Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP):

Hinweise für die Nutzung von TCAS II wurden im Luftfahrthandbuch Deutschland unter ENR 1.8.-22 mit Ausgabedatum 2. November 2000 veröffentlicht.

Unter anderem wurden folgende Hinweise gegeben:

2.2.2 Resolution-Advisory-Anzeigen

a) *Alle Resolution-Advisory-Anzeigen (korrektiv oder präventiv) sollen befolgt werden, es sei denn, der Luftfahrzeugführer kann den sich auf Kollisionskurs befindlichen Verkehr nach Sicht identifizieren und entscheidet selbst, dass keine Abweichung vom gegenwärtigen Flugverlauf erforderlich ist. Auf Änderungen der Ausweichempfehlungen soll der Luftfahrzeugführer umgehend unter Beachtung der Anzeige reagieren. Nicht ausreichende Beachtung einer Resolution-Advisory-Anzeige kann zu einem geringeren vertikalen Mindestabstand, als am Punkt größter Annäherung gewünscht, führen.*

c) *Falls entschieden wurde, einer (korrektiven oder präventiven) Resolution-Advisory-Anzeige nicht zu folgen, soll niemals ein Ausweichmanöver entgegen der empfohlenen Richtung der Resolution Advisory Anzeige durchgeführt werden. Das ist besonders wichtig, da das System ohne Wissen des Luftfahrzeugführers mit anderen entsprechend ausgerüsteten Luftfahrzeugen koordiniert.*

d) Die Wiederaufnahme der letzten Flugverkehrskontrollfreigabe soll unmittelbar nach der Systemanzeige „clear of conflict“ erfolgen.

3. Verantwortung für die Staffelung von Luftfahrzeugen während Ausweichmanövern basiert auf Resolution-Advisory-Anzeigen:

„Die Nutzung von TCAS II entbindet die Luftfahrzeugführer und Flugverkehrsleiter nicht von ihrer Verantwortung für einen sicheren Betrieb von Luftfahrzeugen. Nach der Mitteilung, dass ein kontrolliertes Luftfahrzeug aufgrund einer Resolution Advisory ein Ausweichmanöver durchführt, soll der Flugverkehrsleiter keine Flugverkehrskontrollfreigabe entgegen der durch den Luftfahrzeugführer übermittelten Ausweichempfehlung erteilen.“

4. Meldeverfahren für Sprechfunk

4.1 Die bis jetzt veröffentlichten ICAO-Regelungen befassen sich nicht mit den Sprechfunkverfahren zwischen Luftfahrzeugführer und Flugverkehrsleiter bei der Nutzung luftgestützter Kollisionsschutzsysteme. [...]

4.5 Vorgeschlagene Sprechgruppen

Der Luftfahrzeugführer soll über die Durchführung eines Ausweichmanövers so bald wie möglich wie folgt informieren:

„TCAS climb“ oder „TCAS descent“ [...]

Luftverkehrsordnung (LuftVO) § 13

Im § 13, Absatz 9, LuftVO ist ein Abweichen von den Ausweichregeln aufgrund einer ACAS/TCAS RA wie folgt geregelt:

(9) Die Vorschriften über die Ausweichregeln entbinden die Luftfahrzeugführer nicht von der Verpflichtung, so zu handeln, dass ein Zusammenstoß vermieden wird. Das gilt auch für Ausweichmanöver, die auf Empfehlungen beruhen, welche von einem bordseitigen Kollisionswarngerät gegeben werden.[...]

Advisory Circular (AC) der Federal Aviation Administration (FAA)

Die amerikanische Luftfahrtbehörde FAA hat am 22. Oktober 2001 das AC 120-55B „Air Carrier Operational Approval and use of TCAS II“ veröffentlicht. Mit dem AC wurden Empfehlungen bezüglich Installation, Betrieb und Training von TCAS II gegeben.

Die Verantwortlichkeit des Luftfahrzeugführers wurde unter anderem wie folgt beschrieben:

“11. TCAS Operational Use

[...]

11.b. Pilot Responsibilities

[...]

11.b. (2): When an RA occurs, the PF should respond immediately by direct attention to RA displays and manoeuvre as indicated, unless doing so would jeopardize the safe operation of the flight or the flightcrew can assure separation with the help of definitive visual acquisition of the aircraft causing the RA. By not responding to an RA, the flightcrew effectively takes responsibility for achieving safe operation.

[...]

11.b. (5): The PNF should advise the PF on the progress of achieving the vertical rates commanded by TCAS. The PNF and any on-board observers will assist in the visual search for the intruder and continue to cross-check the TCAS displayed information with other available traffic information to ensure the RA response is being flown correctly.

[...]

11.f. ATC Responsibilities

(1) Controllers will not knowingly issue instructions that are contrary to RA guidance when they are aware that a TCAS manoeuvre is in progress. When an aircraft deviates from its clearance in response to an RA, ATC is still responsible for providing assistance to the deviating aircraft as requested until:

- a) The pilot informs ATC that the RA conflict is clear; and*
- b) The aircraft has returned to the previously assigned altitude; or*
- c) Alternate ATC instructions have been issued and acknowledged.”*

1.18.4.2 Befunde

Boeing B757-200: TCAS-Ausrüstung und Untersuchungsbefunde

Die Boeing B757-200 war mit dem System TCAS 2000 des Herstellers ACSS (Aviation Communication and Surveillance Systems, LLC) ausgerüstet.

Folgende Komponenten waren installiert:

TCAS-Computer RT 950 :	P/N: 7517900-10003	S/N: 99112884
	Mode S Adresse:	894012 H
Vertical Speed Indicator:	P/N: 457400RA0711	S/N: 8061
Vertical Speed Indicator:	P/N: 457400RA0711	S/N: 8060
TCAS Antenna:	P/N: 751409-901	S/N: 9504XXXX
TCAS Antenna:	P/N: 751409-901	S/N: 9505A712

Das System entsprach den Anforderungen von TCAS II, Version 7. Es wurde nachgerüstet und durch eine ergänzende Musterzulassung (supplementary type certification) zugelassen.



VSI/TRA der B757-200

Die Entfernungsbereiche auf dem Display von 4NM, 8NM oder 16NM können von Hand gewählt werden. Der zum Zeitpunkt des Unfalls eingestellte Bereich konnte nicht ermittelt werden.



Position des VSI/TRA in der B757-200

Untersuchungsbefunde

Der TCAS-Computer der B757-200 war durch Aufprall und Brand vollständig zerstört. Einige Daten konnten durch das Auslesen des Computers der TU154M ermittelt werden, weil die TCAS-Computer der beteiligten Flugzeuge gegenseitig Daten speichern.

Auszug aus den TCAS-Daten der B757-200, abgefragt und gespeichert von der TU154M:

Zeit/Time (UTC)	Höhe/Altitude (feet)	V/S (ft/min)	Advisory
21:34:32	35968	0	-
21:34:34	35968	0	-
21:34:36	35968	0	-
21:34:38	35968	0	-
21:34:40	35968	0	-
21:34:42	35968	0	-
21:34:44	35968	0	-
21:34:46	35968	0	-
21:34:48	35968	0	-
21:34:50	35968	0	-
21:34:52	35968	0	-
21:34:54	35968	0	-
21:34:56	35968	0	RA Descent
21:34:58	35968	0	RA Descent
21:35:00	35968	0	RA Descent
21:35:02	35968	0	RA Descent
21:35:04	35968	-377	RA Descent
21:35:06	35840	-624	RA Descent
21:35:08	35840	-1222	RA Descent
21:35:10	35840	-1462	RA Descent
21:35:12	35712	-1541	RA Descent
21:35:14	35712	-1987	RA Descent
21:35:16	35584	-2047	RA Descent
21:35:18	35456	-2640	RA Descent
21:35:20	35456	-2617	RA Descent
21:35:22	35328	-2700	RA Descent
21:35:23	35328	-2535	RA Descent
21:35:25	35200	-2370	RA Descent
21:35:27	35072	-2452	RA Descent
21:35:29	35072	-2422	RA Descent
21:35:31	34944	-2392	RA Descent
21:35:33	34816	-4260	RA Descent
21:35:34	34688	-4260	-

Anstelle der relativen Zeitskala der TCAS-Geräte (elapsed time) wurde durch die BFU die Uhrzeit in UTC eingefügt.

Höhe: Auflösung 128 ft, keine Rundung, Berechnung aus einer Quelle mit 25-ft-Auflösung (Transponderantwort der B757-200)

V/S: Berechnung aus der Höhe, Auflösung 25 ft

Das Kommando „increase descent“ wurde als individuelles Kommando nicht an die TU154M gesendet. Es wurde vom CVR um 21:35:10 Uhr aufgezeichnet.

Tupolew TU154M: TCAS-Ausrüstung und Untersuchungsbefunde

Die TU154M war ebenfalls mit dem System TCAS 2000 des Herstellers ACSS ausgerüstet.

Folgende Komponenten waren installiert:

TCAS-Computer RT 950:	P/N: 7517900-1000	S/N: G1064787
	Mode S Adresse:	154F38 H
Vertical Speed Indicator :	P/N: 4067241-890	S/N: 01085842 Mod.Lev.: M
Vertical Speed Indicator :	P/N: 4067241-890	S/N: 01085838 Mod.Lev.: M
TCAS Antenna:	P/N: 7514081-90	S/N: 0103E925
TCAS Antenna:	P/N: 7514081-90	S/N: 0105F312

Das System entsprach den Anforderungen von TCAS II, Version 7. Es wurde nachgerüstet und durch eine ergänzende Musterzulassung (supplementary type certification) zugelassen.



Position der TCAS-Anzeige in der TU154M (VSI/TRA)

Die Entfernungsbereiche auf dem Display von 6 NM, 12 NM oder 40 NM können von Hand gewählt werden.

Untersuchungsbefunde

Der nichtflüchtige Datenspeicher des TCAS-Computers der TU154M wurde am 13. August 2002 beim Hersteller ACSS in Gegenwart von Mitgliedern des Untersuchungsteams der BFU ausgelesen.

Während des Fluges gab es zwei Ereignisse, für die der TCAS-Computer eine „Event-No“ erstellt und nachfolgend den Ereignisablauf in den Datenspeicher geschrieben hat.

Ereignis 1:

Zwischen 18:48:12 Uhr und 18:48:28 Uhr - das Flugzeug befand sich im Anfangssteigflug nach dem Start in Moskau (Höhe über Grund zwischen 139 und 653 ft) generierte TCAS eine TA.

Ereignis 2:

Es begann mit der Annäherung an die B757-200 um 21:34:32 Uhr und endete um 21:35:34 Uhr.

Auszug aus den TCAS - Daten für die TU154M:

Zeit/Time (UTC)	Höhe/Altitude (feet)	V/S (ft/min)	Intruder Range (NM)	Bearing (deg)	Advisory
21:34:32	35968	217	11.97	325	-
21:34:34	35968	140	11.56	326	-
21:34:36	35968	45	11.16	326	-
21:34:38	35968	49	10.75	328	-
21:34:40	35968	-70	10.31	328	-
21:34:42	35968	-101	9.94	328	TA
21:34:44	35968	-66	9.53	328	TA
21:34:46	35968	-62	9.12	328	TA
21:34:48	35968	-13	8.69	328	TA
21:34:50	35968	42	8.31	328	TA
21:34:52	35968	-65	7.88	329	TA
21:34:54	35968	-166	7.48	328	TA
21:34:56	35968	-155	7.11	326	RA Climb
21:34:58	35968	-168	6.69	325	RA Climb
21:35:00	35968	-451	6.31	323	RA Climb
21:35:02	35968	-705	5.91	322	RA Climb
21:35:04	35840	-1072	5.48	322	RA Climb
21:35:06	35840	-1117	5.09	323	RA Climb
21:35:08	35840	-1421	4.69	323	RA Climb
21:35:10	35712	-1871	4.30	322	RA Climb
21:35:12	35712	-1841	3.91	321	RA Climb
21:35:14	35584	-2025	3.52	321	RA Climb
21:35:16	35456	-2227	3.12	321	RA Climb
21:35:18	35456	-2347	2.73	319	RA Climb
21:35:20	35328	-2377	2.34	316	RA Climb
21:35:22	35328	-2212	1.96	315	RA Climb
21:35:23	35200	-2152	1.77	316	RA Climb
21:35:25	35200	-1920	1.40	315	RA Climb
21:35:27	35072	-1766	1.00	315	RA Climb
21:35:29	35072	-1957	0.63	314	RA Climb
21:35:31	34944	-1841	0.24	307	RA Climb
21:35:33	34944	-1335	0.00	162	RA Climb
21:35:34	34944	-1335	0	152	-

Erklärungen:

Anstelle der relativen Zeitskala der TCAS-Geräte (elapsed time) wurde durch die BFU die Uhrzeit in UTC eingefügt.

Höhe/Altitude: Auflösung 128 ft, keine Rundung, Berechnung aus einer Quelle mit 25-ft-Auflösung

V/S: Berechnung aus der Höhe, Auflösung 25 ft

Intruder Range: Entfernung zur B757-200 in NM

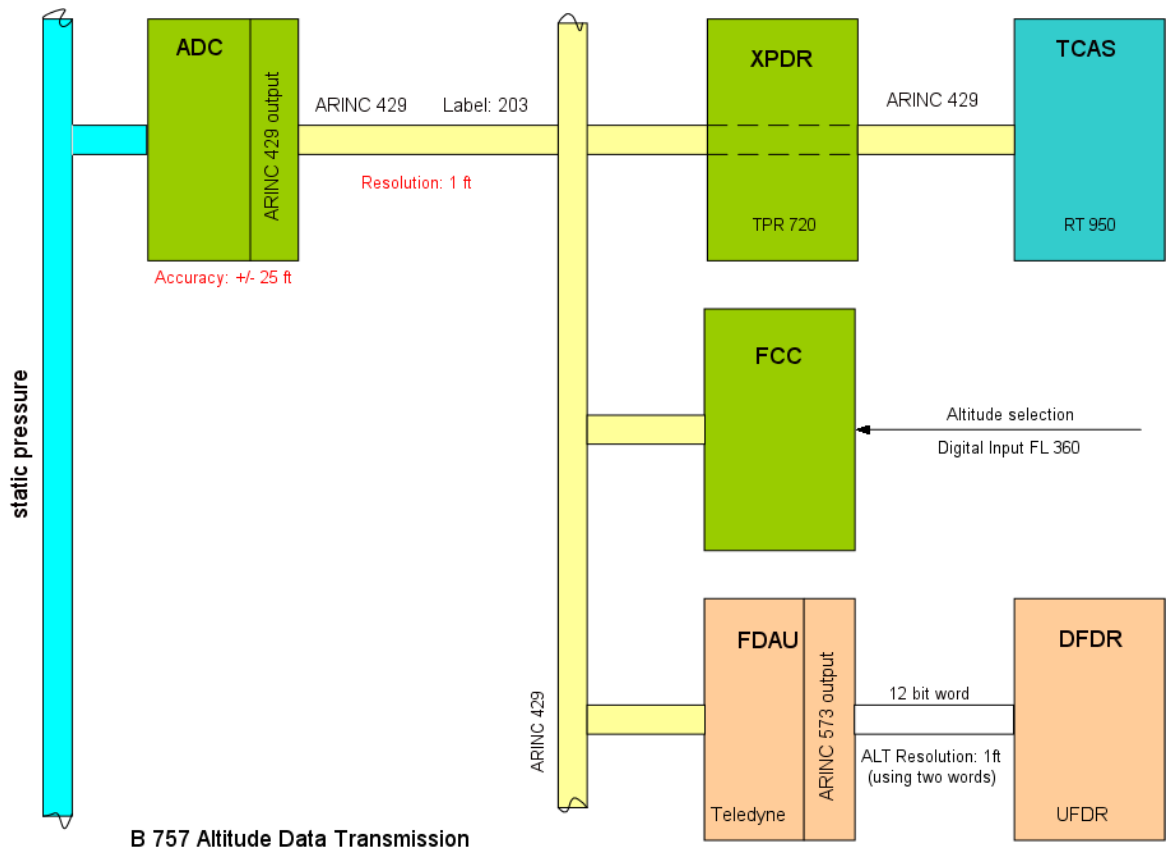
Intruder Bearing: Winkel zur B757-200, bezogen auf eigene Flugzeug-Längsachse

Das Kommando „increase climb“ war im Datenspeicher enthalten und wurde von ACSS aus den Rohdaten mit 21:35:24 Uhr ermittelt.

Höhenmessung für TCAS

Ein wesentlicher Parameter für die Funktionalität von TCAS war die bordseitige Höhenmessung. Zur Klärung der Genauigkeit der Höheninformation und Übertragung zum TCAS wurde für beide Flugzeuge die TCAS-Systemarchitektur analysiert.

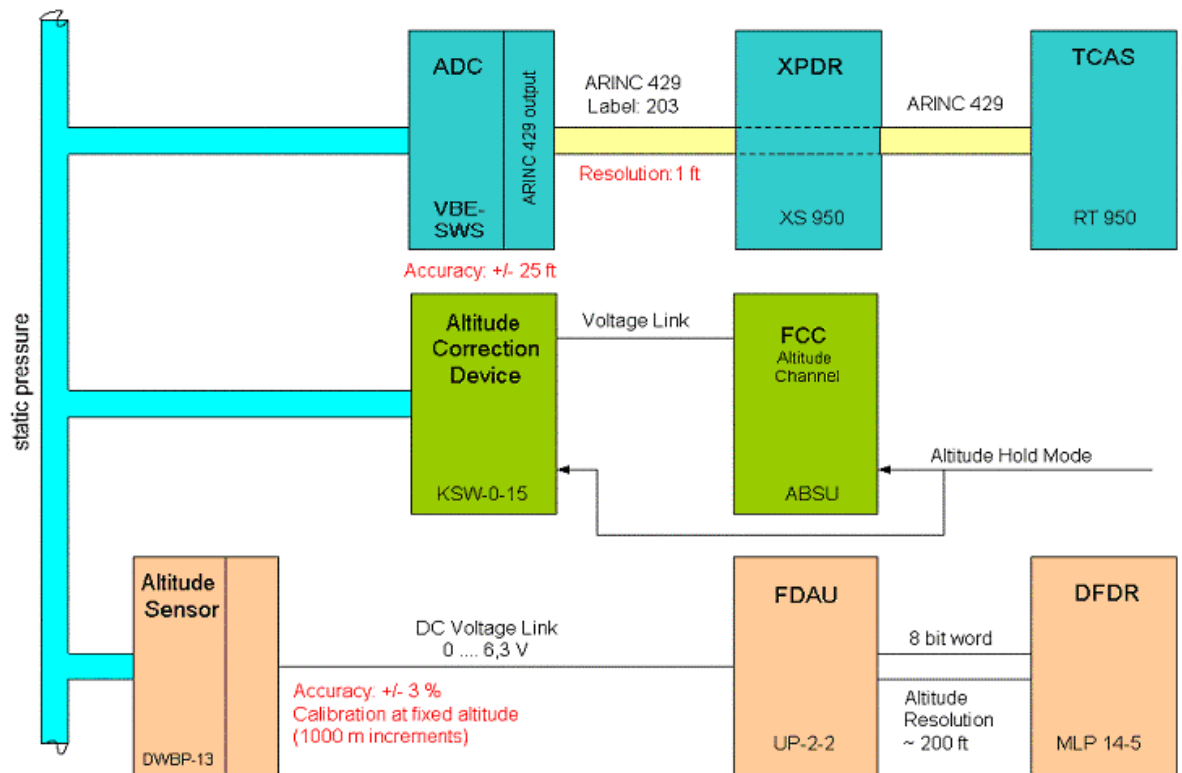
Messung und Verarbeitung der Höheninformation in der B757-200:



Der Air-Data-Computer (ADC) lieferte die Flughöhe (Altitude) mit einer Genauigkeit von +/-25 ft. Die Übertragung an weitere Systemkomponenten erfolgte über einen ARINC-429-Bus (Label 203) mit einer Auflösung von 1 ft. Für die Aufzeichnung auf dem Flugdatenschreiber wurde die Höheninformation über die Interface-Unit (FDAU) mit der vollen Auflösung übertragen.

Vor der Annäherung beider Flugzeuge wurde eine mittlere Flughöhe von 36 005 ft vom Flugdatenschreiber registriert. Die am Boden registrierten Antworten des Transponders waren durchgehend FL 360.

Messung und Verarbeitung der Höheninformation in der TU154M:



Der Air-Data-Computer (VBE-SWS) lieferte die Flughöhe (Altitude) mit einer Genauigkeit von +/-25 ft. Die Übertragung an den Transponder erfolgte über einen ARINC-429-Bus (Label 203) mit einer Auflösung von 1 ft.

Für den Flugdatenschreiber wurde die Flughöhe durch einen speziellen Sensor DWBP-13 ermittelt, der wegen innerer mechanischer Trägheit keine Reproduktion dynamischer Prozesse zuließ. Die Messunsicherheit des DWBP-13 und die Auflösung (ca. 200 ft) des FDR ergeben Daten, die für eine genaue Bestimmung der Flughöhe nicht ausreichen.

Ersatzweise wurden benutzt:

Die Flughöhe, gemessen von einer Height Monitoring Unit (HMU) bei Linz (Österreich), die 25 Minuten vor der Kollision überflogen wurde. Die Flughöhe betrug 36 040 ft. Die Auswertung der Flugdaten ergab, dass der Autopilot in der Betriebsart Höhenstabilisierung zwischen Linz und der Generierung der RA das Flugzeug steuerte.

Die Flughöhen, die vom Transponder gesendet und von ATC aufgezeichnet wurden, schwankten zwischen FL 360 und FL 361(Mode C). Ab 21:34:30 Uhr bis zur Einleitung des Sinkfluges wurde konstant FL 361 registriert.

Operationelle Befunde

TCAS-Funktionen nach der Identifizierung, Feststellung der Positionen und Transponderabfrage:

21:34:32 Uhr

Die Flugzeuge flogen in FL 360 (Höhendifferenz betrug ca. 50 ft) und waren zu diesem Zeitpunkt 11,97 NM voneinander entfernt.

Das TCAS der TU154M ortete die B757-200 in einem Winkel von 325° (-35°, bezogen auf die eigene Längsachse).

21:34:42 Uhr

Die TCAS-Anlagen beider Flugzeuge generierten gleichzeitig eine TA. Die Entfernung der beiden Flugzeuge betrug zu diesem Zeitpunkt 9,94 NM.

21:34:56 Uhr

Die TCAS-Anlagen beider Flugzeuge generierten gleichzeitig eine RA, da sie weiterhin in derselben Höhe flogen.

- Die Entfernung der beiden Flugzeuge betrug zu diesem Zeitpunkt 7,11 NM
- Die RA in der TU154M war „climb, climb“
- Die RA in der B757-200 war „descent, descent“

Beide Flugzeuge begannen gemäß FDR um 21:34:57 Uhr zu sinken.

21:35:10 Uhr

Beide Flugzeuge befanden sich in einer Entfernung von 4,3 NM zueinander. Die TCAS-Anlage der B757-200 generierte das Kommando „increase descent“.

21:35:24 Uhr

Beide Flugzeuge befanden sich in einer Entfernung von 1,54 NM zueinander. Die TCAS-Anlage der TU154M generierte das Kommando „increase climb“. Die Flugzeuge befanden sich weiterhin beide im Sinkflug mit nahezu gleicher Sinkrate und einer Höhendifferenz von weniger als 100 ft zueinander.

TCAS-Ausbildung auf Boeing B757-200Allgemeine Vorschriften

Die Grundlage für die Ausbildung in dem Luftfahrtunternehmen bildete die von der U.S. Department of Transport FAA im November 2000 herausgegebene Broschüre mit dem Titel „Introduction to TCAS II, Version 7“.

In der Theorie wurden unter dem Thema – „Wie das TCAS arbeitet“ – u.a. die nachfolgenden Schwerpunkte vermittelt:

- Systemerklärung
- Verständnis der Alarmschwellen
- Erwartete Handlungen auf TAs und RAs
- Darstellung der akustischen und optischen TCAS-Informationen im Cockpit
- Phraseologie für das Melden von RAs an die Flugsicherung
- Grenzen des Systems
- Umgang mit TCAS im operativen Einsatz

Grundsätze, Anweisungen und Verfahren im Luftfahrtunternehmen

Die betrieblichen Grundsätze, Anweisungen und Verfahren sind im Flugbetriebshandbuch (Operations Manual), Teil A, Abschnitt 8, vom 4. Februar 2002 festgelegt.

Im Unterabschnitt 8.3.2.6.5 TCAS/ACAS Alerts and Warnings sind nachfolgende Verfahren für die Crew dokumentiert:

Wird an Bord des Flugzeuges eine TA vom TCAS herausgegeben, so hat die Crew eine visuelle Suche nach dem Flugzeug (threat aeroplane) durchzuführen und sich auf eine eventuelle RA vorzubereiten.

Im Falle einer RA hat die Crew sofort das geforderte Manöver einzuleiten und nachfolgend die Leistung der Triebwerke zu verändern und das Trimmen durchzuführen.

Besonders zu beachten ist, dass die Manöver niemals in die entgegengesetzte Richtung der RA gemacht werden sollten.

Die RA sollte nur dann nicht befolgt werden, wenn der potentielle Konfliktverkehr positiv identifiziert wurde und es absolut klar ist, dass kein Abweichen vom Flugweg erforderlich ist.

Alle RAs sollten mündlich an ATC, sobald als praktisch durchführbar (as soon as practicable), und nach Beendigung des Fluges auch schriftlich an die zuständige Behörde gemeldet werden.

Im Ausbildungshandbuch für Boeing-757-Flugbesatzungen (757 Flight Crew Training Manual), das nach Aussage des Halters Grundlage für die Ausbildungen der Crews war, ist im Abschnitt 5.19 und 5.20 vom 31. Oktober 2001, herausgegeben von der Firma Boeing bezüglich Manöver bei einer TA und RA folgendes festgelegt:

TA

Wird an Bord des Flugzeuges eine TA vom TCAS herausgegeben, so soll die Crew zügig das Folgende durchführen:

- Suche nach dem Verkehr unter Nutzung der Darstellung auf dem VSI/TRA als Hilfe
- Ausrufen eines jeden Konfliktverkehrs
- keine Manöver durchführen, es sei denn, dass ein visueller Kontakt zu einem Konfliktverkehr eine ungenügende Staffelung anzeigt

Manöver, die nur auf der Grundlage einer TA geflogen werden, können zu einer reduzierten Staffelung führen und sind nicht zu empfehlen.

RA

Die Crews sollten den RA-Kommandos folgen, indem sie die dargestellten Verfahren anwenden. Wenn sie anders handeln, so gefährden sie die sichere Flugdurchführung. Es sei denn, es besteht visueller Kontakt zu dem Konfliktverkehr und es gibt eine sicherere Vorgehensweise.

Wird eine RA herausgegeben, so soll die Crew zügig das Folgende durchführen:

- Schalte den Autopilot ab und verändere mit Gefühl die Längsneigung des Flugzeuges und die Leistung der Triebwerke, sodass das vorgegebene RA-Kommando realisiert werden kann.
- Verändere die Längsneigung des Flugzeuges, sodass sich der Zeiger für die vertikale Geschwindigkeit auf dem VSI/TRA knapp außerhalb des roten Bereiches befindet. Gleiche die Leistung der Triebwerke an, um die vertikale Geschwindigkeit zu halten.
- Versuche visuellen Kontakt herzustellen.
- Wenn der Konfliktverkehr passiert wurde (Systemanzeige "clear of conflict"), informiere ATC und kehre zu der ursprünglichen Freigabe zurück.

Im Weiteren werden im Handbuch noch einige Hinweise zur Steuerung des Flugzeuges bei einem RA-Manöver bei Flügen mit Passagieren gegeben.

Die Ausführungen zur RA im Handbuch enden mit dem Hinweis, dass ein Ausweichmanöver entgegen der empfohlenen Richtung der RA nicht zu empfehlen ist, da das TCAS-System die Manöver gegebenenfalls mit anderen Flugzeugen koordiniert.

Ausbildung der Flugbesatzung

Beide Flugbesatzungsmitglieder (PIC und copilot) erhielten vor dem Einsatz im Luftfahrtunternehmen entsprechend dem AC (Advisory Circular) 120-55 Pilot-Training-Programms ihre TCAS-Ausbildung, sowohl theoretisch als auch praktisch. Die Ausbildung wurde mit einem Test (TCAS Examination) abgeschlossen. Beide Piloten bewältigten den Test (mehr als 90% der möglichen Punkte) erfolgreich, der PIC am 19. November 2001 und der Copilot am 15. April 2002.

Anschließend wurde jeweils ein praktisches Flugtraining im Boeing-757-Flugsimulator mit simuliertem TCAS-System von Gulf Air in Doha, Katar, durchgeführt. Vermittelt wurde hier der richtige operationelle Umgang mit TCAS, u.a. die Aufmerksamkeitsverteilung und die Handlungen bei TAs und RAs zwischen PF und PNF, das Erarbeiten der Fertigkeiten bei RAs, speziell das unverzügliche und geeignete Reagieren auf RAs, die im programmierten Flugsimulator ausgelöst wurden.

Ein gemeinsames Flugsimulator-Training, Befähigungsüberprüfung (proficiency check) des PIC am 24. und 25. Juni 2002, enthielt ebenfalls Elemente des TCAS-Trainings.

TCAS – Ausbildung auf Tupolew TU154M

Allgemeine Vorschriften

Die Grundlage für die Ausbildung in dem Luftfahrtunternehmen bildete das vom stellvertretenden Direktor der Zivilen Luftfahrt der Russischen Föderation am 10. August 2000 bestätigte Ausbildungsprogramm mit dem Titel: „Programm für die Vorbereitung des fliegenden Personals (Personalbestand) von Luftfahrtunternehmen der Zivilen Luftfahrt für den Flug mit dem Bordsystem TCAS/ACAS“.

In der Einführung wird darauf hingewiesen, dass das von EUROCONTROL veröffentlichte Dokument "ACAS Implementation Guidance Document" vom 01. Juli 1997 die Grundlage für dieses Programm bildete.

Dieses Ausbildungsprogramm enthält drei Teile:

1. Theorie und Prinzipien der Arbeitsweise des Systems sowie die Verarbeitung der Eingangsinformationen
2. Besonderheiten der Installation und die flugtechnische Anwendung auf dem entsprechenden Flugzeugmuster
3. Praktische Ausbildung an Bord des Flugzeuges nach dem Abschluss des theoretischen Teiles.

Für alle drei Teile sind insgesamt 48 Stunden, unterteilt in 40 Stunden Theorie und 8 Stunden Praxis, vorgesehen. Die Ausbildung wird in zugelassenen staatlichen Spezialeinrichtungen durch Lehrer, die bei den amerikanischen Herstellern der TCAS/ACAS-Geräte und an der Akademie für Zivile Luftfahrt in St. Petersburg (Russland) ausgebildet wurden, durchgeführt.

Auf der Grundlage der theoretischen und praktischen Ausbildung und einer bestandenen Prüfung erhält das fliegende Personal ein Zertifikat.

In der Theorie werden u.a. die nachfolgenden Schwerpunkte vermittelt:

- Grundlagen des Systems TCAS/ACAS, Forderungen der ICAO und Definitionen
- Konstruktionsprinzip mit den Bauteilen
- Systemerklärung anhand der Installation an Bord
- Technische Daten (Parameter)
- Darstellung der akustischen und optischen Anzeigen im Cockpit entsprechend Version 7.0
- Handlungen bei TA und Ausweichmanöver bei RA, Phraseologie für das Melden an ATC
Hier werden detailliert die auszuführenden Handlungen des fliegenden Personals bei einer TA/RA dargestellt.
- Grenzen des Systems
- Installation und Betrieb der flugtechnischen Systeme auf dem entsprechenden Flugzeugmuster

Das praktische Bodentraining für TCAS/ACAS wird an Bord eines Flugzeuges durchgeführt.

Grundsätze, Anweisungen und Verfahren im Luftfahrtunternehmen

Die betrieblichen Grundsätze, Anweisungen und Verfahren für die Bedienung von Ausrüstung und Systemen sind in der Flugbetriebsanleitung für die TU154M („РУКОВОДСТВО ПО ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТУ154М“) festgelegt.

Im Abschnitt 8.18.3, Blatt 8.18.1/2 vom 22. März 2001, unter dem Titel „Kollisionsschutzsystem TCAS-2000 / Transponder Mode S, Version 7 der Firma Honeywell“ sind Verfahren für die Crew festgelegt.

Betriebsbeschränkungen (gem. 8.18.3.1):

Das System TCAS kann nur solche Flugzeuge erfassen, die mit den in der Betriebsart RBS (A, C) und S geschalteten Transpondern ausgestattet sind.

Flugzeuge ohne Transponder oder mit Transpondern in der Betriebsart UWD können vom System nicht aufgespürt werden.

Wenn der Antwortsender eines „Intruders“ keine Höhe übermittelt (arbeitet nur in der Betriebsart A), kann TCAS nur den Azimut und die Entfernung zu diesem Flugzeug feststellen und kann deshalb keinen Befehl zur Vermeidung einer Konfliktsituation erteilen.

Dabei nimmt das System an, dass der „Intruder“ auf der Höhe des eigenen Flugzeugs ist. Auf einer Flughöhe, die über 18 000 ft (5500 m) liegt, werden diejenigen Flugzeuge, die ihre Höhe nicht übermitteln, nicht angezeigt.

In Abhängigkeit von der geometrischen Flughöhe (laut Funkhöhenmesser) sind im System TCAS folgende Beschränkungen vorgesehen (siehe nachfolgende Tabelle).

Flugbedingungen	TCAS Beschränkungen
In einer Höhe unter 1 450 ft (442 m)	Es wird kein Kommando für einen beschleunigten Sinkflug erteilt
In einer Höhe unter 900 ft (274,3 m) beim Sinkflug des Flugzeugs und in einer Höhe bis 1100 ft (335,3 m) beim Steigen	Es wird keine RA für ein Vertikalmanöver generiert (TCAS schaltet automatisch in die Betriebsart „TA only“)
In einer Höhe unter 400 ft (122 m) beim Sinkflug des Flugzeugs und in einer Höhe bis 600 ft (183 m) beim Steigen.	Es erfolgt keine Sprachausgabe

Bei einer Temperatur in der Kabine des Flugzeugs, die unter -15°C liegt, sollte das System wegen der eventuell sinkenden Zuverlässigkeit der Anzeige VSI/TRA nicht eingeschaltet werden.

Im Unterabschnitt 8.18.3.2 ist der normale Betrieb des Systems dargestellt. Im Punkt (4) dieses Unterabschnittes, Blatt 8.18.6 vom 06. Dezember 1999, wird für die einzelnen Flugabschnitte Folgendes ausgeführt:

Alle Flugphasen:

Bei der Flugdurchführung sind die Veränderungen im Luftraum zu beobachten, die am VSI/TRA angezeigt werden. Lassen Sie sich von den Empfehlungen des Systems zur Vorbeugung von Kollisionen leiten.

Reiseflug:

Nach Erreichen der Reiseflughöhe ist die Umschaltung auf die Reichweite 40 NM und N (normale Erfassung) vorzunehmen.

Nach diesem Satz schließen sich unter der Überschrift „ACHTUNG“ nachfolgende Punkte an:

1. Vor der Durchführung des Kommandos zum Ausweichen ist es erforderlich, Kontakt zu dem Konfliktverkehr herzustellen.
2. Die Ausführung der Kommandos muss sicher und gleichmäßig erfolgen, ohne dabei über die in der Betriebsanleitung für die TU154M angegebenen Betriebsgrenzen hinauszugehen. Das System setzt eine Reaktionszeit der Crew innerhalb von 5 Sekunden nach einer RA voraus.
3. Es ist verboten, ein Kommando auszuführen, welches dem vom System ausgegebenen entgegengesetzt ist.
4. Bei einem gleichzeitigen Kommando von TCAS und GPWS hat das GPWS-Kommando Vorrang.
5. [...]

Nach der Ausführung des erforderlichen Kommandos und dem Passieren des Konfliktverkehrs sowie der verbalen Mitteilung vom TCAS-System "Clear of Conflict" muss an die Flugsicherung eine Meldung erfolgen. Es ist auf die von ATC vorgegebene Flughöhe zurückzukehren.

In der Flugbetriebsanleitung für die TU154M Tabelle 8.18.3.3 (Blatt 8.18.9) vom 22. März 2001 werden der Crew nachfolgende Handlungen bei den vom System TCAS initiierten Anweisungen empfohlen:

TA

Wird an Bord des Flugzeuges vom TCAS eine TA generiert, so wird der Crew empfohlen, die Suche nach der Position des Konfliktverkehrs auf dem VSI/TRA durchzuführen und nach Möglichkeit den visuellen Kontakt zu ihm herzustellen.

Bei einer TA wird auf der VSI/TRA ein kreisförmiges Symbol, mit gelber Farbe ausgefüllt, dargestellt (20 bis 48 Sekunden vor einer möglichen Kollision).

RA

Im Falle eines "CLIMB, CLIMB" hat die Crew schnell und gleichmäßig die vertikale Steiggeschwindigkeit von 7,6 m/s (=1 500 ft/min) einzunehmen. Der Zeiger des VSI/TRA soll in den grünen Bereich gebracht werden.

Auf der VSI/TRA wird bei RA "CLIMB, CLIMB" ein grüner Bereich von 7,6 m/s bis 10 m/s markiert. Der Bereich -30 m/s bis 7,6 m/s erscheint in roter Farbe.

Ausbildung der Flugbesatzung

Aus den Unterlagen des Luftfahrtunternehmens ging hervor, dass alle Flugbesatzungsmitglieder, außer dem Flugingenieur, das komplette Ausbildungsprogramm inklusive einem Test (Kommandant am 14. November 2000, Instruktor am 22. Dezember 2000, Copilot am 18. Oktober 2000 und Flugnavigator am 09. Januar 2001) erfolgreich absolviert hatten.

Das praktische Bodentraining wurde an Bord einer TU154M durchgeführt. Ein Training im Flugsimulator fand nicht statt.

Der Kommandant und der Instruktor führten im Jahre 2002 außerhalb des Luftraumes der Russischen Föderation folgende internationale Flüge mit TCAS-ausgerüsteten Flugzeugen durch:

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
Kommandant			4	2	2	4
Instruktor	2					2

Nach Aussage des Luftfahrtunternehmens war keiner der beiden Piloten mit TCAS-Ereignissen konfrontiert.

1.18.5 Ausweichregeln

Unabhängig von den Anordnungen der Flugsicherung sowie von technischen Ausrüstungen zur Kollisionsverhütung sind allgemeine Ausweichregeln festgelegt, nach denen Piloten Manöver zur Vermeidung von Kollisionen fliegen sollen. Diese Regeln sind in entsprechenden Vorschriften veröffentlicht:

Luftfahrthandbuch Deutschland (LuftVO § 13)

(2) Kreuzen sich die Flugrichtungen zweier Luftfahrzeuge in nahezu gleicher Höhe, so hat das Luftfahrzeug, das von links kommt auszuweichen.

(8) Ein Luftfahrzeug, das nach den Absätzen 1 bis 5 und 7 nicht auszuweichen oder seinen Kurs zu ändern hat, muss seinen Kurs und seine Geschwindigkeit beibehalten, bis eine Zusammenstoßgefahr ausgeschlossen ist.

(9) Die Vorschriften über die Ausweichregeln entbinden die beteiligten Luftfahrzeugführer nicht von ihrer Verpflichtung, so zu handeln, dass ein Zusammenstoß vermieden wird. Dies gilt auch für Ausweichmanöver, die auf Empfehlungen beruhen, welche von einem bordseitigen Kollisionswarngerät gegeben werden. [...]

ICAO Annex 2, (3.2 Avoidance of collisions)

3.2.2.3 When two a/c are converging at approximately the same level, the a/c that has the other on its right shall give way...

The a/c that has the right of way shall maintain its heading and speed, but..... nothing in this rules shall relieve the PIC of an a/c from the responsibility of taking such action, including collision avoidance manoeuvres based on RA provided by ACAS equipment, as will best avert collision.

Note 1 :

Operating procedures for use of ACAS equipment are contained in PANS-OPS (Doc 8168) Volume I, Part VIII Chapter 3.

Note 2:

Carriage requirements for ACAS equipment are addressed in Annex 6, Part I, Chapter 6

Nationale Regelungen in Bahrain und der Schweiz

Die Staaten Bahrain und Schweiz hatten der ICAO mitgeteilt, dass in ihrem Territorien keine von dem ICAO Annex 2 abweichenden Festlegungen gelten.

Nationale Regelungen in der Russischen Föderation

Im Luftfahrthandbuch der Russischen Föderation (AIP Russia) waren die Abweichungen der nationalen Regelungen von den ICAO Regelungen veröffentlicht:

Para. 3.2.2.3 When carrying out flights on collision courses at the same flight level (altitude) the pilot-in-command who has noticed another aircraft on his left, shall reduce flight altitude and the pilot-in-command, who has noticed the aircraft on his right, shall increase flight altitude so that the difference in altitude should provide safe separation for them.

1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Im Rahmen der Untersuchung wurden Informationen aus dem nichtflüchtigen Speicher des TCAS-Computers der TU154M ausgelesen. Trotz massiver Beschädigungen durch den Aufprall konnte der Speicherbaustein identifiziert und mit Unterstützung des TCAS-Herstellers bitweise ausgelesen und ausgewertet werden.

Die Datensätze enthielten neben den Messwerten des eigenen Flugzeuges (Höhen, Kurse (Bearing), Entfernungen) die über den Transponder empfangenen Höheninformationen der B757-200, deren TCAS-Computer unauswertbar zerstört worden war. Auch die aus den empfangenen Höheninformationen durch den TCAS-Computer berechneten Werte für die Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit waren gespeichert und auswertbar.

Damit standen wichtige Daten zur Rekonstruktion der Flugwege beider Flugzeuge und zur Bewertung der generierten TCAS-TAs/RAs in beiden Flugzeugen zur Verfügung.

2. Beurteilung

2.1 Allgemeines

In die Beurteilung wurden generell alle ermittelten Tatsachen einbezogen. Wenn innerhalb des Untersuchungsteams der BFU darüber Einigkeit bestand, dass bestimmte Tatsachen für das Unfallgeschehen nicht relevant waren, erfolgte keine schriftliche Bewertung im Rahmen dieses Berichtes.

Beispiele:

- Auf der Basis der ersten Auswertungen von FDR, CVR, Funksprechverkehr und Radardaten konnte schon in der ersten Woche der Untersuchung festgestellt werden, dass keine Anzeichen für ein unfallrelevantes Versagen der Technik beider Flugzeuge vorlagen und so beschloss das Untersuchungsteam keine weitergehenden diesbezüglichen Untersuchungen durchzuführen.
Ausgenommen davon waren die TCAS - Ausrüstungen, die in Kapitel 1.18.4 beschrieben wurden.
- Die Wetterbedingungen spielten für das Unfallgeschehen keine Rolle. Oberhalb FL 280 herrschten Sichtwetterbedingungen mit Sichten über 10 km, bei sternklarem Himmel ohne Erdsicht. Der Mond war noch nicht aufgegangen.
- Die Obduktionen der insgesamt sieben Flugbesatzungsmitglieder beider Flugzeuge ergaben keine Hinweise auf physiologische oder gesundheitliche Beeinträchtigungen; ebenso die Blut- und Urinproben, die beim beteiligten Flugverkehrsleiter des ACC Zürich entnommen wurden.
- Die Insassen beider Flugzeuge hatten infolge der unter 1.12 näher beschriebenen Folgen des Zusammenstoßes (Tupolew TU154M) bzw. der Aufprallsituationen (Boeing B757-200) keine Überlebenschancen.

Die sehr detaillierten und umfangreichen Fachgruppenberichte wurden in den Untersuchungsbericht nicht in vollem Umfang übernommen. Die wichtigsten Aussagen der Fachgruppenberichte befinden sich in den nachfolgenden Kapiteln 2.2 bis 2.6.

2.2 Flugbetrieb

2.2.1 Boeing B757-200

Die Qualifikation und die Erfahrung der Crew wird von der BFU als hoch angesehen. Beide Flugbesatzungsmitglieder waren im Monat Juni 2002 ausschließlich miteinander geflogen und hatten diese Flugstrecken dabei mehrfach absolviert. Sie hatten ausreichend Zeit sich nach dem letzten fliegerischen Einsatz zu erholen.

Die TCAS-Ausbildung der Crew entsprach den Empfehlungen des Systemherstellers. Das TCAS-Training war regelmäßiger Bestandteil des Flugsimulator-Trainings.

Um 21:29:50 Uhr erreichte die B757-200 im Schweizer Luftraum den FL 360. Kurze Zeit später, um 21:30:11 Uhr, meldete sich die Crew der TU154M erstmals beim ACC Zürich auf 128.050 MHz in derselben Flughöhe. Diese Meldung konnte von der Crew der B757-200 zwar mitgehört werden, hatte für sie aber zunächst untergeordnete Bedeutung, weil keine Positionsangabe gemacht wurde, was auch nicht erforderlich war. Auf dem CVR wurden auch keine kommentierenden Bemerkungen der Crew aufgezeichnet.

Als der Copilot als PF um 21:34:30 Uhr die Steuerung des Flugzeuges an den PIC übergab, um die Toilette aufzusuchen, hatten beide Flugzeuge noch eine Entfernung von 13,6 NM zueinander. Auf dem VSI/TRA hätte die Crew das andere Flugzeug erkennen können, vorausgesetzt der Darstellungsbereich von 16 NM wäre eingestellt gewesen. Der eingestellte Darstellungsbereich konnte aber nicht festgestellt werden. Es ist wahrscheinlich, dass die Crew zu diesem Zeitpunkt das andere Flugzeug noch nicht wahrgenommen hatte, sonst hätte der Copilot seinen Arbeitsplatz nicht verlassen.

Es gehört nicht zu den vorgeschriebenen und geübten Verfahren die TCAS-Darstellungen auf dem entsprechenden Instrument ständig zu beobachten. Entsprechend der Systemphilosophie

wird erst mit der akustischen Warnung einer TA bzw. RA die Aufmerksamkeit der Besatzung auf den anstehenden Konflikt gerichtet.

Um 21:34:42 Uhr wurde an Bord der B757-200 eine TA ausgelöst. Ob der PIC daraufhin eine positive Sichtidentifizierung durchführte, wie sie im Handbuch (Operations Manual, Part A) gefordert wird, konnte nicht geklärt werden. Nach der TA wurden auf dem CVR nicht eindeutig zu identifizierende Geräusche und Laute registriert, die aber der Anwesenheit des Copiloten im hinteren Cockpitbereich zugeordnet werden können.

Als um 21:34:56 Uhr das TCAS-System eine RA „descent, descent“ auslöste, wurde der Autopilot innerhalb von zwei Sekunden ausgeschaltet, die Steuersäule gedrückt und die Leistung der Triebwerke reduziert. Neun Sekunden nach der RA wurde auf dem Kanal für das Cockpit-Mikrofon (area-mic) eine Bemerkung des Copiloten („traffic right there“) festgehalten, der auf Verkehr hinwies. Die BFU deutet diesen Ausruf als eine positive Sichtidentifizierung mit dem Konfliktverkehr. Zu diesem Zeitpunkt hatte der Copilot den Kopfhörer noch nicht wieder aufgesetzt.

Zwölf Sekunden nach der RA hatte das Flugzeug die Sollsinkgeschwindigkeit von 1500 ft/min eingenommen. Ein Zeitlimit dafür ist im OM, Section 08, Page 50E vom 04. Februar 2002 des Luftfahrtunternehmens nicht enthalten, Es heißt dort: „Leite das erforderliche Manöver sofort ein („... initiate the required manoeuvre immediatly, ...“).

Entsprechend dem TCAS-Handbuch des Herstellers steht dem PF bei einer RA eine Reaktionszeit von 5 Sekunden zu, d.h., das TCAS-System rechnet damit, dass innerhalb von 5 Sekunden das Ausweichmanöver eingeleitet wird. Bei einem „increase decent“ wird im Handbuch die zugestandene Reaktionszeit auf 2,5 Sekunden verkürzt.

Die TCAS-Verfahren für eine RA sind so ausgelegt, dass bei richtiger Reaktion nur kleine g – Belastungen auftreten. So soll sich bei einem „descent, descent“ die g – Belastung um 0.25 g verändern. Bei einem „increase descent“ liegt dieser Wert bei maximal 0.35 g.

Als um 21:35:10 Uhr das TCAS zum verstärkten Sinken („increase descent“) aufforderte und der PIC dem sofort folgte, hatte der Copilot seinen Arbeitsplatz wieder eingenommen und die Kopfhörer aufgesetzt. Der CVR zeichnete auf dem Kanal des Copilot die Bemerkung: „increase“ auf.

Die Crew hatte auf die RA richtig reagiert. Der Sinkflug wurde, wie vorgegeben, innerhalb von fünf Sekunden eingeleitet und die geforderte Sinkrate in einem angemessenen Zeitrahmen eingenommen. Die Untersuchung gab keinen Aufschluss darüber, ob die Crew nach Auslösen der RA das andere Flugzeug auf dem VSI/TRA weiter beobachtete und dabei die Flughöhe und deren Differenzen feststellte oder ob bereits ein visueller Kontakt bestand.

Gemäß den Aufzeichnungen des CVR wurde um 21:35:14 Uhr ein akustisches Alarmsignal (Master Caution Aural Warning) für ca. zwei Sekunden aufgezeichnet. Mit hoher Wahrscheinlichkeit signalisierte diese Warnung das Verlassen der eingestellten Reiseflughöhe.

Um 21:35:19 Uhr - 23 Sekunden nach der RA - meldeten beide Flugzeugführer an ACC Zürich, dass das Flugzeug in einen durch TCAS veranlassten Sinkflug übergegangen sei. Beide Piloten begannen die Meldung und der Copilot vollendete sie. Im OM wird von der Crew verlangt, dass die Flugverkehrskontrolle über die befolgte RA so schnell wie praktikabel („as soon as practicable“) zu informieren ist.

Die Verzögerung beim Senden der Meldung an ACC Zürich wird von der BFU grundsätzlich als zu lang angesehen. Die Meldung erfolgte jedoch zum frühestmöglichen Zeitpunkt, weil die Frequenz vorher blockiert war. Eine weitergehende Beurteilung dieses Sachverhaltes findet sich im Kapitel über „Menschliche Faktoren“.

Ungefähr zwei Sekunden vor der Kollision wurde - nachdem der Copilot einen noch stärkeren Sinkflug gefordert hatte („descent hard“) - die Steuersäule bis zum Anschlag nach vorn gedrückt. Die BFU sieht darin den Versuch der Crew, die unmittelbar bevorstehende Kollision mit der inzwischen visuell wahrgenommenen TU154M noch zu verhindern.

2.2.2 Tupolew TU154M

Die Qualifikation und die Erfahrung der Crew der TU154M wird von der BFU als hoch angesehen. Der rechts sitzende Flugzeugführer war als Chefpilot des Unternehmens tätig und sollte auf diesem Flug nach Barcelona den links sitzenden Kommandanten in die Besonderheiten des dortigen Anfluges einweisen. Auch die übrige Besatzung, bestehend aus dem Flugingenieur

und dem Flugnavigator, ist als erfahren anzusehen. Der Copilot hatte auf diesem Teil des Fluges keine offizielle Funktion, saß aber im Cockpit.

Die Flugbesatzungsmitglieder, mit Ausnahme des Flugingenieurs, hatten eine TCAS-Ausbildung erhalten, die den nationalen Vorschriften entsprach. Die im ICAO State Letter AN 11/19-02/82 beschriebenen Trainingsverfahren „ACAS Manoeuvres Training“ und „RA responses“ wurden nicht vollständig realisiert. Eine praktische Ausbildung im Flugsimulator war wegen fehlender TCAS-Ausrüstung der Flugsimulatoren im Luffahrtunternehmen nicht möglich; dafür war eine Einweisung im Cockpit vorgesehen, die auch durchgeführt worden war.

Die BFU bewertet die fehlende Möglichkeit, TCAS im Flugsimulator praktisch zu trainieren als nachteilig für den Erfahrungsstand der Crew. Keiner der beiden Piloten verfügte über praktische Erfahrung in der Befolgung tatsächlicher RAs. Da TCAS in der Russischen Föderation nicht vorgeschrieben ist, sind nur die Flugzeuge des Luffahrtunternehmens damit ausgerüstet, die in Regionen einfliegen, in denen TCAS obligatorisch ist. Die geringe Anzahl von Flügen in diesen Regionen (12 Flüge des Kommandanten und 4 Flüge des Instructors im Jahr 2002) lassen auf eine geringe praktische Erfahrung im Umgang mit TCAS schließen.

Die Regelungen des Flugbetriebshandbuches des Luffahrtunternehmens werden als nicht eindeutig genug bewertet. Es gab z.B. die Aussage, dass die Flugsicherung das wichtigste Mittel zur Vermeidung von Kollisionen ist; die Priorität einer TCAS-RA blieb dabei unberücksichtigt. Fliegerische Manöver, die entgegengesetzt zu einer TCAS-RA stehen, waren allerdings gemäß OM verboten.

Alle Flugbesatzungsmitglieder hatten ausreichend Zeit sich nach dem letzten fliegerischen Einsatz zu erholen.

Um 21:16:10 Uhr flog das Flugzeug - entsprechend dem aufgegebenen Flugplan - in FL 360 in den deutschen Luftraum ein. Eine Veränderung der Flughöhe war im abgegebenen Flugplan nicht geplant. Nach den Erkenntnissen der Untersuchung verlief der Flug bis zur Übergabe an ACC Zürich um 21:29:54 Uhr ohne besondere Ereignisse.

Erstmals um 21:33:18 Uhr bemerkte die Crew der TU154M auf dem Anzeigeelement für TCAS (VSI/TRA) ein anderes, von links kommendes Flugzeug. Zu diesem Zeitpunkt waren beide Flugzeuge noch ca. 27 NM voneinander entfernt. Es ist davon auszugehen, dass das Display auf eine Reichweite von 40 NM eingestellt war, wie es das Flugbetriebshandbuch vorsieht. Es handelte sich zweifelsfrei um die B757-200, mit der die Kollision erfolgte, weil sich zu dieser Zeit kein anderes Flugzeug in diesem Luftraum aufhielt.

Um 21:34:36 Uhr - sechs Sekunden vor der TA - äußerte der Kommandant, dass er das Flugzeug in gleicher Flughöhe erkannt habe. Diese Erkenntnis wurde aus seinen Aussagen: „Hier ist er mit Sicht“, und zwei Sekunden später: „Hier, es zeigt Null an“, gewonnen. Damit wurde der Höhenunterschied („00“-Darstellung am blauen Rhombus-Symbol) auf dem VSI/TRA angesprochen.

Da eine visuelle Einschätzung der Flughöhe des Konfliktverkehrs bei dunkler Nacht und bei dieser Entfernung nicht möglich war und die TU154M gerade eine Kurskorrektur mit einer rechten Schräglage von ca. 10° durchführte, können die wesentlichen Informationen darüber nur von den Instrumenten stammen. Beide Flugzeuge waren noch ca. 10 NM voneinander entfernt.

Um 21:34:42 Uhr wurde an Bord der TU154M vom TCAS eine TA ausgelöst, welche der Crew anzeigte, dass das andere Flugzeug in unmittelbarer Nähe war. Sie erfolgte sowohl akustisch als auch in Form eines gelben kreisförmigen Symbols auf dem VSI/TRA.

Zu diesem Zeitpunkt hatte die Crew bereits - wie die Aufzeichnungen des CVR belegen - den visuellen Kontakt zu diesem Flugzeug hergestellt. So war eine visuelle Suche (Identifizierung des Konfliktverkehrs), wie im Flugbetriebshandbuch gefordert, nicht mehr erforderlich. Eine Bestätigung, dass die Crew die TA gehört hatte, war durch entsprechende Ausrufe des Instructors und des Copiloten gegeben.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Crew nach der TA in einer gewissen Erwartungshaltung für ein Ausweichen war.

Um 21:34:49 Uhr – sieben Sekunden nach der TA – wies der Lotse von ACC Zürich die Crew der TU154M an, wegen anderen Flugverkehrs auf FL 350 zu sinken. Bevor dieser fast acht Sekunden dauernde Funkspruch beendet war, gab der als PNF tätige Instruktor das Kommando: „Sinken“. Diese Anweisung wurde in ihrer Befehlsform gesprochen. Diese Anweisung zum Sinken entsprach der Erwartungshaltung der Crew und war für sie folgerichtig.

Innerhalb der nächsten drei Sekunden wurde die Steuersäule gedrückt und der Autopilot (Kanal für die Längsneigung) schaltete sich ab, der Sinkflug eingeleitet und die Leistung der Triebwerke reduziert. Die Crew hat damit zeitgerecht reagiert.

Für die Crew liefen um 21:34:56 Uhr zeitgleich drei Vorgänge ab:

- die Anweisung des Lotsen zum Sinken auf FL 350 war gerade beendet
- der PF drückte die Steuersäule und das Flugzeug befand sich im Übergang in den Sinkflug
- eine RA „climb, climb“ wurde vom TCAS generiert

Nach den Aufzeichnungen des CVR reagierte der Copilot auf die RA mit der Bemerkung: „Es (TCAS) sagt Steigen“. Darauf antwortete der Instruktor: „Er (der Lotse) fordert uns zum Sinken auf!“, worauf der Copilot die Frage stellte: „Sinken?“ Offensichtlich führte das Zusammentreffen der Vorgänge in ihrer zu Irritationen.

Um 21:35:02 Uhr wurde die Steuersäule gezogen. Es könnte sich dabei um eine verspätete Reaktion des PF auf die RA „climb, climb“ oder aber um eine Reaktion auf den Ausruf des Copiloten „it says climb“ handeln. Die BFU hält es aber für wahrscheinlicher, dass es sich hierbei nach dem zügig eingeleiteten Sinkflug um die notwendige Stabilisierung der Sinkrate handelte. Die ausgewerteten TCAS-Daten registrierten nach der Stabilisierung weiter eine Sinkrate von ca. 1 200 ft/min.

Es ist davon auszugehen, dass über den gesamten Zeitraum von der Generierung der RA „climb, climb“ bis zur Kollision die Anzeige auf dem Display des VSI/TRA sich im rot markierten Bereich befunden hat.

Nach der RA wurde der Sinkflug fortgesetzt und die Entscheidung der Crew, der Anweisung von ACC Zürich zu folgen, beibehalten.

Die Gespräche zwischen den Flugbesatzungsmitgliedern wurden durch den Lotsen unterbrochen, der sie erneut aufforderte, zügig auf FL 350 zu sinken. Die zweite Anweisung des Lotsen war nötig geworden, weil die Crew der TU154M auf die erste Anweisung verbal nicht reagiert hatte. Offensichtlich haben die Irritationen verhindert, dass die erste Anweisung bestätigt wurde.

Die zweite Anweisung des Lotsen war das Ende der Gespräche innerhalb der Crew über die RA und für die beiden Flugzeugführer die erneute Bestätigung der Entscheidung, der ATC - Anweisung zu folgen, zumal das andere Flugzeug vom Lotsen als in FL 360 befindlich gemeldet wurde.

Die zweite Anweisung des Lotsen um 21:35:03 Uhr fiel zeitlich mit dem Zurücknehmen der Leistungshebel der Triebwerke zusammen. Die BFU ist der Auffassung, dass dieser Vorgang wahrscheinlich durch den Instruktor durchgeführt wurde. Der PF hielt von diesem Zeitpunkt an die Steuersäule für noch für ca. zwei Sekunden gezogen, um erst danach die Sinkrate des Flugzeuges durch Drücken der Steuersäule wieder zu vergrößern.

Nach den Weisungen des Flugbetriebshandbuches war es nicht zwingend vorgeschrieben, der RA zu folgen. In der Tabelle 8.18.3.3 unter „climb, climb“ heißt es dazu wörtlich in der entsprechenden Spalte: „Рекомендации экипажу“. Übertragen ins Deutsche: „Empfehlung an die Besatzung“.

In der Anleitung für den Flugbetrieb ist auf Seite 8.18.6 vom 06. Dezember 1999 unter der Überschrift ACHTUNG unter Punkt 3 ausgeführt, dass es verboten ist, ein Manöver entgegen der vom TCAS-System herausgegebenen Anweisung durchzuführen. (Запрещается выполнять команды противоположные тем, которые выдает система.)

Die Verkehrsinformation des Lotsen um 21:35:13 Uhr, dass sich anderer Verkehr in der „2-Uhr-Position“ befände, war falsch und irreführend für die Crew. Richtig wäre die „10-Uhr-Position“ gewesen. Die Reaktion des Instructors lässt gemäß CVR den Schluss zu, dass er den Luftraum vorn rechts vergeblich absuchte.

Die Aufzeichnungen des CVR lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Crew nach der TA die B757-200 auf dem VSI/TRA beobachtete. Da die B757-200 mit „Strobelights“ ausgerüstet war und die Sichtverhältnisse gut waren, hatte die Crew der TU154M auch einen visuellen Kontakt hergestellt. Eine sichere Einschätzung von Höhen, Flugrichtungen, Geschwindigkeiten und Fluglagen bei Dunkelheit ist wegen fehlender optischer Referenzen nicht möglich.

Auf die um 21:35:24 Uhr durch TCAS ausgelöste RA zum verstärkten Steigen („increase climb“) reagierte nur noch der Copilot mit den Worten: „Steigen sagte es!“. Offenbar hatte nur der Copilot die Relevanz der TCAS-RA richtig erkannt.

Fünf Sekunden vor dem Zusammenstoß wurde durch den PF begonnen an der Steuersäule zu ziehen, einhergehend mit einer leichten Veränderung der Stellung der Leistungshebel der Triebwerke nach vorn. Zu diesem Zeitpunkt passierte die TU154M die Höhe von 35 100 Fuß. Diese Aktion des PF könnte als der Anfang der Überführung des Flugzeuges in den Horizontalflug betrachtet werden.

Ausgehend von der Anweisung auf FL350 zu sinken, begann dieses Manöver zu spät und war in der Ausführung zu langsam, um das Flugzeug in FL350 auszuleiten.

Eine Sekunde vor dem Zusammenstoß wurde die Steuersäule ruckartig zurück gezogen. Die BFU sieht darin den Versuch des PF, den unmittelbar bevorstehenden Zusammenstoß mit der inzwischen deutlich erkannten B757-200 noch zu verhindern.

2.2.3 Vermeidung von Kollisionen nach dem Prinzip „Sehen und Ausweichen“

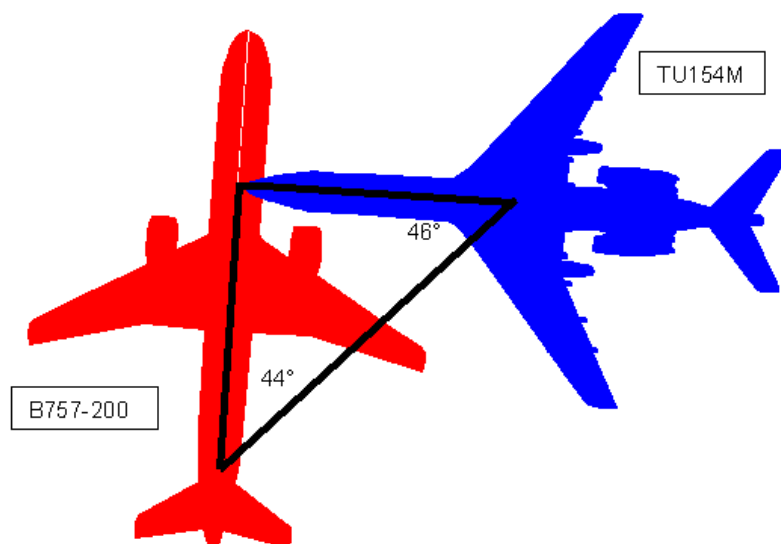
Die Vermeidung eines Zusammenstoßes nach dem Prinzip „Sehen und Ausweichen“ setzt ein Erkennen des anderen Luftfahrzeuges, ein Beobachten der Flugbahn und Abschätzen einer Kollisionsgefahr, das Treffen einer Entscheidung sowie das Einleiten eines Ausweichmanövers bis hin zur effektiven Flugbahnänderung voraus.

Position des anderen Flugzeugs aus Sicht der jeweiligen Flugbesatzung

Ausgehend von den vorliegenden Daten der Radaraufzeichnung, der Flugdatenschreiber und TCAS, sowie dem Spurenverlauf an den Wrackteilen der TU154M, die an der Unterseite des rechten Tragflügels in einem Winkel von 46° verliefen, wurde die Annäherung der Luftfahrzeuge rechnerisch nachvollzogen.

Aus der TU154M befand sich die B757-200 fünf Minuten vor der Kollision unter einem Winkel von ca. 315° bezogen auf die Flugzeuglängsachse d.h. 45° links voraus. Aufgrund von Kursänderungen der TU154M begann die B757-200 um 21:31:51 Uhr aus Sicht der Crew der TU154M sich nach rechts, d.h. in Richtung 325° zu bewegen. Aus den gespeicherten TCAS-Daten ging hervor, dass die B757-200 eine Minute vor dem Zusammenstoß unter 325° geortet wurde. Aufgrund einer weiteren Kursänderung der TU154M veränderte sich nachfolgend die Peilung und damit der Winkel unter dem das andere Flugzeug beobachtet werden konnte geringfügig (zwischen 329° und 319°). Ab einem Zeitpunkt von 12 s vor der Kollision lag die Peilung bei 315° (45° links). Um 21:35:29 Uhr (3 s vor der Kollision) wurde eine Peilung zur B757-200 von 314° (46° links) aufgezeichnet. Dieser Wert stimmte mit dem gemessenen Winkel der Kollisionsspuren an der Unterseite des rechten Tragflügels der TU154M überein.

Aus der Sicht der Flugbesatzung der B757-200 befand sich die TU154M während der letzten fünf Minuten vor der Kollision unter einem Winkel von 36° - 39° . Ab ca. 30 s vor dem Zusammenstoß „wanderte“ die TU154M in Richtung 45° aus. Zum Zeitpunkt der Kollision betrug der Annäherungswinkel 44° .



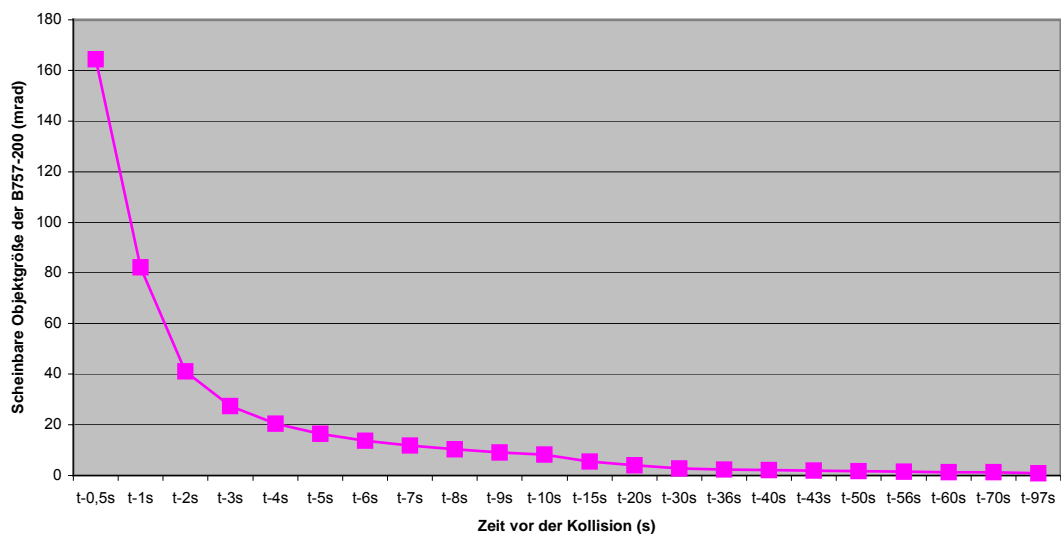
Scheinbare Objektgröße

Im Verlauf der Annäherung zweier auf Kollisionskurs befindlichen Luftfahrzeuge verändert sich die scheinbare Objektgröße des jeweils anderen Flugzeuges in Form einer Exponentialfunktion, d.h., das Objekt bleibt für einen relativ langen Zeitraum der Annäherung sehr klein, um dann wenige Sekunden vor der Kollision optisch „aufzublühen“ bzw. zu „explodieren“.

Aufgrund der Tatsache, dass die Geschwindigkeiten der Flugzeuge in unterschiedlicher Qualität gemessen und durch die jeweiligen FDR aufgezeichnet worden waren, wurden für die weiteren Berechnungen zunächst die aus den Radardaten hervorgehenden Geschwindigkeiten gegenüber dem Boden (ground speed) verwendet. Zum Vergleich wurde die Berechnung mit der im FDR der B757-200 aufgezeichneten „ground speed“ von 505 kt wiederholt. In einer dritten Berechnung wurden die Daten des TCAS-Computers der TU154M zugrunde gelegt. Dieser hatte eine Minute vor der Kollision eine Schrägentfernung zur B757-200 von 11,97 NM ermittelt.

Aus der Analyse der durch die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) aufgezeichneten Radardaten wurde eine Annäherungsgeschwindigkeit der Flugzeuge von 704 kt errechnet. Die Geschwindigkeit der B757-200 lag bei 506 kt und die der TU154M bei 489 kt. Die Vergleichsberechnung unter Verwendung der im FDR der B757-200 gespeicherten Geschwindigkeit ergab eine Geschwindigkeit der TU154M von 488 kt und eine Annäherungsgeschwindigkeit von 702 kt. Unter Zugrundelegung der TCAS-Daten betrug die Annäherungsgeschwindigkeit der Flugzeuge 718 kt. Die Geschwindigkeiten der Flugzeuge betragen danach 516 kt für die B757-200 und 499 kt für die TU154M. Aufgrund der verschiedenen Ressourcen ergab sich somit eine Annäherungsgeschwindigkeit der Flugzeuge zwischen 702 kt und 718 kt (361-369 m/s).

**Scheinbare Objektgröße der B757-200 aus Sicht der TU154M
(mittlere Annäherungsgeschwindigkeit 365 m/s)**



Zum Zeitpunkt der 56 Sekunden vor der Kollision aufgezeichneten Äußerung des Kommandanten („here visually“), die auf ein Erkennen des anderen Flugzeuges schließen ließ, hatte die B757-200 eine scheinbare Größe von ca. 1,5 milliradian (mrad). Als ACC Zürich der Crew der TU154M die Anweisung zum Sinkflug gab, betrug die Objektgröße ca. 1,7 mrad und zum Zeitpunkt der RA 2,3 mrad. Acht Sekunden vor der Kollision, beim Generieren der zweiten RA (increase climb), war die B757-200 aus Sicht der Besatzung der TU154M ca. 10,4 mrad groß.

Aus Sicht des Cockpits der B757-200 galten in Bezug auf die scheinbare Objektgröße aufgrund der nahezu gleichen Größe der TU154M grundsätzlich die gleichen Bedingungen.

Bedingungen bei Nacht

Am Tage ist für ein Erkennen eines anderen Flugzeuges dessen sich aus der tatsächlichen Größe und der Entfernung ergebende Objektgröße und die Sichtbedingungen, wie Sichtweite und Kontrast maßgeblich. In größeren Höhen können Kondensstreifen ein Erkennen erleichtern.

Bei Nacht waren die Flugzeuge über einen längeren Zeitraum der Annäherung nicht anhand ihrer Objektgröße, sondern die B757-200 aufgrund der roten bzw. weißen Blitzlichter am Rumpf und den Tragflügelenden und die TU154M durch die roten Blinklichter visuell zu erfassen.

Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes betrug die Sicht in der Flughöhe zum Unfallzeitpunkt 10 km oder mehr. Der Mond befand sich noch unterhalb des Horizonts. Zum Zeitpunkt der Äußerung des Kommandanten der TU154M war die B757-200 ca. 20 km entfernt. Es kann somit von einer Feuersicht von mindestens 20 km ausgegangen werden.

Aufgrund fehlender Referenzen, besonders in großen Höhen und bei der herrschenden Dunkelheit waren die Höhendifferenz, der Flugweg sowie die Fluglage des anderen Luftfahrzeuges visuell nicht sicher einzuschätzen. Im weiteren Verlauf der Annäherung der Flugzeuge war aus dem Cockpit der TU154M aufgrund der Farbgebung der Positionslichter zu erkennen, dass der rechte Tragflügel des anderen Flugzeuges dem Betrachter zugewandt war und das Objekt größer wurde, sich also der Abstand zwischen den Luftfahrzeugen verringerte. Das galt sinngemäß ebenso aus Sicht des Cockpits der B757-200 für die TU154M.

Ausweichregeln

Der Zusammenstoß der Flugzeuge ereignete sich im Luftraum der Bundesrepublik Deutschland. Somit galten die im Luftfahrthandbuch Deutschland veröffentlichten Ausweichregeln.

Eine Entscheidung der Besatzung über ein Ausweichmanöver nach Sicht kann erst nach dem visuellen Auffassen des anderen Flugzeuges und der Beobachtung seiner Flugbahn erfolgen. Bei der Auswahl eines Manövers sind die geltenden Ausweichregeln und die Betriebsgrenzen des Flugzeuges einzuhalten.

Wie die Analyse der Annäherung der Flugzeuge zeigte, war den Besatzungen zu dem Zeitpunkt, als ACC Zürich die Sinkflughinweisung gab bzw. TCAS die RA generierte, eine Entscheidung über ein Ausweichmanöver nach Sicht nicht möglich, da die Flugbahn des anderen Flugzeuges und damit die Kollisionsgefahr nach Sicht nicht hinreichend genau einschätzbar war.

Auch eine Einschätzung, ob das durch die jeweilige Besatzung eingeleitete Manöver (Sinkflug) geeignet war, eine Kollision zu verhindern, war allein durch Beobachtung des anderen Flugzeuges nicht möglich bzw. erst zu einem Zeitpunkt, als die verbleibende Zeit für ein Ausweichen nicht mehr ausreichte.

Nach Auffassung der BFU hatten die Ausweichregeln in diesem Fall keine praktische Bedeutung.

2.3 Luftfahrzeuge

2.3.1 Boeing B757-200 und Tupolew TU154M

Die an den Wrackteilen der TU154M festgestellten Berührungsspuren stimmten mit dem aufgrund der durch die Flugdatenschreiber und Radardaten dokumentierten Annäherung der Flugzeuge erwarteten Spurenverlauf überein.

Die vom Seitenleitwerk der B757-200 stammenden Farbabtragungen am linken Tragflügel der TU154M dokumentierten die erste Berührung der beiden Flugzeuge.

Die festgestellten strukturellen Beschädigungen an dem linken Tragflügel der TU154M zwischen Vorflügel und Tragflügelwurzel und die vom FDR unmittelbar nach der Kollision dokumentierte hohe Rollrate nach links - trotz des der Drehung entgegenwirkenden Querruderspoilers - sprachen dafür, dass sich der linke Tragflügel mit dem zentralen Tragwerkkasten in dieser Phase von dem Flugzeug löste. Die Beschädigungen am Rumpf führten zu einem explosionsartigen Druckverlust innerhalb des Flugzeuges.

Übereinstimmend mit den Zeugenaussagen, den Fotoaufnahmen und der Wrackverteilung ist davon auszugehen, dass das Flugzeug in großer Höhe auseinander brach und mehrere Teile in

Brand gerieten. Als Folge der Auftrennung des Rumpfes waren 40 Insassen aus dem Flugzeug gefallen.

Durch die Kollision abgetrennte kleinere Teile des Flugzeuges hatten sich in Abhängigkeit von deren Masse mit dem Wind in nordöstliche Richtung verteilt.

Eine „Mischzone“ mit Wrackteilen beider Flugzeuge war westlich der Ortschaft Altheim in einer Entfernung von 8 km vom vorderen Rumpf der TU154M bzw. 3,5 km von dem Hauptwrack der B757-200 entstanden. In diesem Bereich lagen Teile der Tragflügelvorderkante der TU154M und der Seitenflosse der B757-200. Die dort aufgefundenen Teile beider Flugzeuge wiesen Kollisionsspuren auf.

Die Tatsache, dass von der B757-200 lediglich Teile des Seitenleitwerks in großer Entfernung vom Hauptwrack gefunden wurden, ist ein indirekter Beweis dafür, dass die TU154M nur mit dem Seitenleitwerk berührt worden war.

Nach der Kollision geriet die B757-200 infolge des fehlenden Seitenleitwerks, das zu 80% zerstört worden war, in einen unkontrollierten Flugzustand. Dabei rollte das Flugzeug um seine Längsachse und verlor durch hohe Seitenkräfte im Fluge beide Triebwerke. Die relativ kleine Unfallstelle (ca. 110 m x 30 m) lässt den Schluss zu, dass das Flugzeug mit einer negativen Längsneigung von mindestens 70° aufprallte.

2.4 Flugsicherung

2.4.1 Flugsicherung Zürich

Als beide Lotsen um 17:50 Uhr ihren Dienst antraten, war ihnen nicht bekannt, dass während ihres Nachtdienstes umfangreiche Sektorisierungsarbeiten an den Sektoren des oberen Luft- raumes geplant waren. Unterlagen darüber lagen für ein Selbstbriefing aus. Die Gelegenheit sie zu lesen, obwohl im Dienstplan bzw. Arbeitsvertrag dafür Zeit vorgesehen ist, haben sie nicht wahrgenommen. Die Auswirkungen blieben deshalb relativ unbedeutend, weil in den Unterla- gen nicht beschrieben war, wie sich die Arbeiten auf die Verfügbarkeit der technischen Einrich- tungen auswirken würden.

Nachdem die Sektorisierungsarbeiten begonnen hatten und das Verkehrsaufkommen sich ver- ringert hatte, ging ein Lotse in einen der Pausenräume. Normalerweise wäre er erst in den frü- hen Morgenstunden, wenn der Verkehr zunimmt, wieder in den Kontrollraum zurückgekehrt, es sei denn außergewöhnliche Umstände verlangten seine frühere Anwesenheit. Die räumliche Distanz der Pausenräume vom Kontrollraum lässt eine Alarmierung mit sofortigem Erscheinen des zweiten Lotsen nicht zu. Der verbleibende Radarlotse hatte somit gleichzeitig planende (RP) und ausführende Aufgaben (RE) zu erfüllen und bei Bedarf Tätigkeiten des Dienstleiters zu übernehmen.

Diese Verfahrensweise gab es offiziell nicht, wurde aber seit vielen Jahren im Bereich des ACC Zürich so praktiziert. Die Lotsen haben sich auf diese Weise ihre Nachtdienstschichten komfor- tabler gestaltet. Es handelt sich um eine Verfahrensweise, die ohne menschliche Redundanz arbeitet, sodass Fehler im Ablauf, falsche Aufmerksamkeitsverteilungen oder Vergessen von wichtigen Erledigungen zu gefährlichen Situationen führen können, weil niemand da ist, dem diese Fehler auffallen können und der korrigierend eingreifen kann. Die vorgeschriebenen Pau- sen konnten so nicht genommen werden. Obwohl dieses Verfahren nur inoffiziell war, war es dem Management von ACC Zürich bekannt und wurde von ihm geduldet.

Für alle Flüge lagen die Kontrollstreifen rechtzeitig vor. Aus ihnen war nicht ersichtlich, dass sich beide Flugzeuge (B757-200 und TU154M) in einer Konfliktsituation befanden. Ein gemein- samer Meldepunkt war nicht vorhanden. Den Crews beider Flugzeuge waren Genehmigungen zum direkten Anflug des VOR Tango (B757-200) und des VOR Trasadingen (TU154M) erteilt worden und die Kontrollstreifen stimmten so mit den tatsächlichen Flugverläufen nicht mehr ü- berein. Erst in Verbindung mit dem Radarbild wäre der Konflikt erkennbar gewesen.

Während die TU154M seit geraumer Zeit in FL 360 flog, erhielt die Crew der B757-200 erst um 21:26:36 Uhr die Genehmigung auf diese Höhe zu steigen. Die B757-200 erreichte um 21:29:50 Uhr FL 360. Die Crew meldete die Einnahme dieser Flugfläche nicht; diese Meldung ist nicht vorgeschrieben.

Als die Crew der TU154M um 21:30:11 Uhr den ersten Funkkontakt mit dem ACC Zürich aufnahm und dabei auch die Flughöhe meldete, fiel dem Lotsen nicht auf, dass die B757-200 soeben dieselbe Höhe erreicht hatte und sich beide Flugzeuge im rechten Winkel aufeinander zu bewegten. Der Abstand beider Flugzeuge betrug noch ca. 64 NM zueinander. Wäre es ihm aufgefallen, hätte er bereits in diesem Moment der Crew der TU154M die Anweisung geben können auf FL 350 zu sinken, zumal gemäß Kontrollstreifen ab dem VOR Trasadingen diese Höhe sowieso vorgesehen war.

Der Lotse war zu dieser Zeit intensiv mit dem Anflug eines verspäteten Airbus A320 auf den Flughafen Friedrichshafen beschäftigt, wozu er den Arbeitsplatz wechseln musste. Er versuchte mehrfach mit Friedrichshafen zu telefonieren, was durch einen technischen Fehler im Bypass-Telefonsystem nicht möglich war, ihn aber viel Zeit und Konzentration kostete. Eine Einbindung des SYMAs, der eine Ersatzlösung hätte anbieten können zog er nicht in Betracht, da er über die zusätzliche Anwesenheit eines SYMAs nicht informiert war.

So vernachlässigte er für einen gewissen Zeitraum die Führung der beiden anderen Flugzeuge. Durch die Nichtverfügbarkeit des optischen STCA wurde er vor der sich anbahnenden Kollisionsgefahr nicht gewarnt.

Als der Lotse um 21:34:49 Uhr die erste Anweisung an die Crew der TU154M gab, zügig auf FL 350 zu sinken, war die horizontale Staffelung von 7 NM praktisch schon unterschritten (exakt um 21:34:56 Uhr, dem Moment, als der Funkspruch zu Ende war).

Um 21:34:56 Uhr hätte die TU154M bereits auf FL 350 gesunken sein müssen, um den vertikalen Abstand von 1000 ft im RVSM-Luftraum zu gewährleisten. Um das zu erreichen, wäre es notwendig gewesen, spätestens um 21:33:49 Uhr - also 1 Minute früher als tatsächlich geschehen - die Anweisung zum Sinken auf FL 350 zu geben. Die Zeit ergibt sich aus einer üblichen Sinkgeschwindigkeit von ca. 1 000 ft pro Minute.

Als die Crew der TU154M auf die erste Anweisung zum Sinken auf FL 350 verbal nicht reagiert hatte, wiederholte der Lotse um 21:35:03 Uhr diese Anweisung mit mehr Nachdruck in der Stimme. Wie bei der ersten Sinkanweisung verwendete er den Begriff „expedite“. Der Zusatz „expedite“ signalisierte aber nicht, dass die Staffelung bereits unterschritten war. Auch die Information „I have crossing traffic“, die er bei der ersten Sinkanweisung verwendete, entsprach nicht der Dringlichkeit der Situation. Besser wäre das Wort „immediately“ anstelle von „expedite“ gewesen. Eine exaktere Information über den Konfliktverkehr z.B.: „You have crossing traffic at 360 (or same level) in your 10 o'clock position“ oder „... from left to the right at 360 (or same level) distance: NM“, wäre in Anbetracht der geringen Entfernung beider Flugzeuge (Entfernung noch ca. 5,5 NM) angemessener gewesen.

In seiner zweiten Anweisung hat der Lotse darüber hinaus noch eine fehlerhafte Angabe über die Position des Konfliktverkehrs gemacht, als er sagte: „Ja,... we have traffic at your 2 o'clock now at 360“. Tatsächlich befand sich die B757-200 in der 10-Uhr-Position. Damit hat er die Crew der TU154M kurzzeitig irritiert. Auch der Hinweis auf die Höhe des anderen Flugzeuges (now 360) war objektiv falsch, weil sich die B757-200 infolge des eingeleiteten Sinkfluges nach der TCAS-RA bereits in FL 356 befand. Das konnte der Lotse aber auf dem Monitor noch nicht ablesen, da für ihn erst bei der Radar-Bilderneuerung um 21:35:24 Uhr ein Sinken der B757-200 zu beobachten war. Bei der davor erfolgten Zielerneuerung um 21:35:12 Uhr war der dargestellte FL 359 noch innerhalb der Toleranzen.

Nachdem der Lotse den beginnenden Sinkflug der TU154M am linken Monitor (RP) abgelesen hatte, sah er das Problem als gelöst an und wandte sich wieder dem rechten Monitor (RE) zu. Anlass dafür war, dass die Crew des Airbus A320, der Friedrichshafen anflug, soeben auf 119.920 MHz wieder gerufen hatte. Auch auf dem rechten Monitor wurden die beiden Flugzeuge (B757-200 und TU154M) mit den dazugehörigen Daten dargestellt. Nur für das Senden auf den verschiedenen Frequenzen war ein Wechsel der Arbeitsposition (zwischen RP und RE) erforderlich.

Als der Lotse zum Arbeitsplatz RE wechselte, um sich dem A320 zuzuwenden, nahm dieser seine volle Aufmerksamkeit in Anspruch. So nahm er weder das Sinken der B757-200 noch den Funkspruch der Crew wahr, die um 21:35:19 Uhr einen TCAS-Sinkflug meldete.

Als der Lotse das Problem mit dem Airbus A320 gelöst hatte, konzentrierte er seine Aufmerksamkeit wieder auf die beiden Flugzeuge. Zu diesem Zeitpunkt war der Zusammenstoß bereits geschehen und er sah auf dem Radar-Monitor die TU154M rot dargestellt, was bedeutete, dass kein Radarsignal mehr empfangen wurde. Seine an die TU154M gerichteten Funksprüche um

21:36:01, 21:36:23 und um 21:37:17 Uhr blieben unbeantwortet. Die B757-200 wurde auf dem Radar-Monitor nicht mehr dargestellt; sie wurde vom Lotsen nicht mehr gerufen.

Die Einhaltung der vorgeschriebenen Staffelung hätte das Auslösen einer RA durch das TCAS und den Unfall sicher verhindert.

Der Lotse war allein für die gesamte Kontrolle des Flugverkehrs im Luftraum des ACC Zürich zuständig. Daraus ergab sich, dass er die Aufgaben des Radar-Planning (RP), Radar-Executive (RE) und der ARFA-Verkehrsleitung wahrnehmen musste. Darüber hinaus hatte er während der Nachtschicht in beschränktem Maße auch die Funktionen des Dienstleiters und des SYMA wahrzunehmen. Die Anwesenheit eines zusätzlich eingeteilten SYMA in dieser Nacht war dem Lotsen nicht bekannt.

Bei ordnungsgemäßer Wahrnehmung der Funktion RP hätte er den Konflikt zwischen der TU154M und B757-200 rechtzeitig erkennen und entsprechende Verkehrsregulierungsmaßnahmen einleiten können. Die Aufgaben gemäß ATMM ZC (ATM-Manual Zurich) sind im Kapitel 1.17.1 (Organisation des Nachtdienstes beim ACC Zürich) dieses Berichtes näher beschrieben.

Aufgabe des RP wäre es gewesen die Flugverlaufsdaten auf den Kontrollstreifen mit den aktuellen Positionen der Flugzeuge, dargestellt auf dem Radarmonitor, ständig zu analysieren und miteinander zu vergleichen. Die dafür benötigte Zeit hatte der Lotse nicht, da er mit dem Anflug auf Friedrichshafen voll beansprucht war. Die Delegation der Koordinationsgespräche mit Friedrichshafen an die am Sektor anwesende CA, hatte er aus Zeitgründen nicht in Betracht gezogen.

Die BFU ist der Auffassung, dass der Lotse nicht in der Lage war, die ihm übertragenen und zusätzlich übernommenen Aufgaben sicher umzusetzen.

Ein Grund dafür lag in der sich aus der Dienstplanung ergebenden unzureichenden Besetzung mit Flugverkehrsleitern während des Nachtdienstes, die keine kontinuierliche Besetzung der Arbeitspositionen gewährleistete. Aufgabe der Führung und der Qualitätssicherung des Flugsicherungsunternehmens wäre es gewesen, diese Mängel zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu deren Abstellung zu ergreifen. Darüber hinaus duldeten die vorgenannten Institutionen die geübte Praxis der Durchführung des Nachtdienstes.

Ein weiterer Grund lag in der falschen Prioritätensetzung und der einseitigen Aufmerksamkeitsverteilung des Lotsen, der sich in eine Situation hineinmanövrierte, deren Gefährlichkeit er zunächst unterschätzte und dann nicht mehr beherrschte.

2.4.2 Flugsicherung Karlsruhe

Die BFU ist der Auffassung, dass innerhalb des UAC Karlsruhe alle Möglichkeiten ausgeschöpft wurden die drohende Kollision zu verhindern. Die Möglichkeit, eine Warnung in Form einer „Blindsendung“ auf der Notfrequenz 121.50 MHz an die Flugzeuge auszusenden, wurde zu Recht nicht erwogen. Das hätte den geltenden Vorschriften widersprochen, mit Sicherheit zu einer Verunsicherung aller Beteiligten geführt und den Zusammenstoß mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht verhindert, zumal nicht ermittelt werden konnte, ob überhaupt eines der beiden Flugzeuge diese Frequenz gerastet hatte.

2.5 ACAS/TCAS

Grundsätzliche Bedeutung von ACAS/TCAS

ACAS/TCAS wurde als Kollisionsschutzsystem entwickelt, das als zusätzliches Sicherheitsnetz („last line of defence“) zu werten ist. Ähnlich wie „Stall Warning System“, „Stick Pusher“ und „Ground Proximity Warning System (GPWS)“ soll ACAS/TCAS eine mögliche Ereigniskette, die durch menschliche Fehler oder technische Fehlfunktionen zu einem Unfall führen kann, unterbrechen.

Da TCAS II, Version 7 bordautonom arbeitet und der Crew ein Ausweichkommando ausschließlich in visueller und akustischer Form vorgibt, sind verbindliche Verfahrensanweisungen für die Nutzung und Reaktion auf TCAS-Anzeigen unabdingbar.

Die TA alarmiert die Crew im Falle eines potentiellen Konflikts und fordert deren Aufmerksamkeit für eine möglicherweise nachfolgende RA.

Die höchste Bedeutung hat die RA, weil diese nur dann erscheint, wenn andere Mechanismen zur Kollisionsvermeidung, wie zum Beispiel die Höhenstaffelung durch den Fluglotsen, nicht ausreichend wirksam oder fehlerhaft waren. Der manuelle Eingriff in die Steuerung des Flugzeuges durch den Piloten muss dann ohne Zeitverzug erfolgen. Eine Koordination mit dem Fluglotsen oder eine Abklärung der Situation mit anderen Bordmitteln nach Erscheinen einer RA würde den Sinn von TCAS infrage stellen. Die dann noch verbleibende Zeit könnte für ein Ausweichmanöver zu kurz sein und die Kollisionsgefahr erhöhen.

Nach allgemeiner Überzeugung macht TCAS nur dann Sinn, wenn die Crews weltweit dem System vertrauen und die Kommandos befolgen. Die BFU ist deshalb der Auffassung, dass bei der Systemkonzeption von TCAS II, Version 7 nach dem Erscheinen einer RA nur ein einziges Verfahren zulässig sein kann. Die Crew muss der RA ohne Zeitverzug folgen und das durch TCAS initiierte Ausweichmanöver dem Fluglotsen mitteilen. Jedes andere Verfahren, das den Vorrang einer RA nicht ausreichend berücksichtigt, würde dem Sinn von TCAS entgegenstehen.

Systembetrachtungen und Schnittstelle Mensch-Maschine

Da das Gesamtsystem TCAS halbautomatisch arbeitet, kann das beabsichtigte Ziel, eine Kollision zu verhindern, nur durch die Mitwirkung des Menschen erreicht werden.

Voraussetzung dafür ist die folgende Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine:

TCAS-Computer	Flugbesatzung
TA: Warnung akustisch und optisch	Verstehen der Gefahrensituation anhand der Darstellung auf dem Display, Aufnahme des Sichtkontaktes, Absprachen zwischen PF/PNF
RA: Akustisches Kommando und optische Darstellung der Steig- bzw. Sinkrate	PF: Abschalten des Autopiloten, manuelle Steuerung, innerhalb von 5 Sekunden Einleiten des Steig-/ Sinkfluges auf die geforderte Steig-/Sinkrate. PNF: Überwachung

Bewertung der „Collision Avoidance System Logic“ (CAS-Logik)

Vor der Generierung der RAs befanden sich die beiden Flugzeuge im Reiseflug mit einer Vertikalgeschwindigkeit von nahezu null und einer geringen Differenz in der Flughöhe von ca. 50 ft. Beide Flugzeuge sendeten ihre Flughöhe mit einer Auflösung von 25 ft. Die Höhendifferenz betrug also ein oder zwei Höheninkremente, wobei sich die B757-200 unter der TU154M befand. Dadurch spielte die Höhendifferenz bei der Auswahl der Richtung der RAs die entscheidende Rolle; die CAS-Logik vermeidet sich kreuzende Flugwege.

Der Sinkflug der beiden Flugzeuge vom FL 360 bis zum Kollisionspunkt ist in der Anlage 6 dargestellt. Mögliche Fehlerquellen sind:

- Die „TCAS-Altitude“ hat eine Auflösung von 128 ft
- Die TCAS-Steig-/Sinkraten sind verzögert, weil sie aus der „Altitude“ mit 25-ft-Auflösung berechnet wurden.
- Die TCAS-Daten haben eine Abtastrate von 2 Sekunden. Der Fehler auf der Abszisse kann 1 Sekunde betragen.
- Eine Fehlerabschätzung, der vom IAC berechneten Parameter TU154M „Altitude“ und „Vertical Speed“ kann von der BFU nicht durchgeführt werden.

Der FDR der B757-200 registrierte die Flughöhe mit einer Auflösung von 1 ft und wurde zur Bestimmung der Flughöhe beim Zusammenstoß in 34 890 ft verwendet.

Nach den RAs und den eingeleiteten Ausweichmanövern wird im Normalfall der berechnete Abstand am CPA größer, bis der TCAS-Computer die akustische Mitteilung „Clear of Conflict“ generiert.

Durch die entgegengesetzte Reaktion der Crew der TU154M vergrößerte sich der berechnete Abstand zur B757-200 am CPA nicht.

Die CAS-Logik in der B757-200 erzeugte 14 Sekunden nach der ersten RA ein Kommando „increase descent“ (Erhöhung der Sinkrate von 1 500 ft/min auf 2 500 ft/min), um den anhaltenden Konflikt zu lösen. Ebenso generierte die CAS-Logik in der TU154M 28 Sekunden nach der ersten RA ein Kommando „increase climb“ (Erhöhung der Steigrate von 1 500 ft/min auf 2 500 ft/min).

Die „Increase-Kommandos“ sind nicht zwischen den im TCAS-Ausweichmanöver befindlichen Flugzeugen koordiniert. Im ICAO Annex 10 ist dargelegt, dass die CAS-Logik einen extrapolierten Flugpfad anstelle von Werten aus der laufenden Überwachung zum Rechnen verwendet. Das führt zu unterschiedlichen Zeiten der Generierung der „increase“ RAs in den beteiligten Flugzeugen.

Mit dem Befolgen des Kommandos „increase descent“ durch die Crew der B757-200 wurde die Höhendifferenz der beiden Flugzeuge geringer.

TCAS II, Version 7 ist imstande ein „Reversal RA“ zu generieren, d.h., eine koordinierte RA, deren Richtung entgegengesetzt zur ersten RA ist. Die „Reversal RA“ ist ein Ausweg, wenn im Laufe des Ausweichmanövers eine Umkehrung der ursprünglichen geometrischen Situation der Flugbahnen stattgefunden hat. Diese Situation entsteht insbesondere dann, wenn Crews entgegengesetzt zum ersten Ausweichkommando steuern.

Eine „Reversal RA“ kann unter folgenden Bedingungen generiert werden:

- Der berechnete Abstand am CPA muss in der neuen Richtung größer sein als in der ursprünglichen Richtung und größer als 100 ft.
- Die Höhendifferenz zwischen den Flugzeugen muss bereits 100 ft in die neue Richtung überschritten haben.
- Ein Reversal darf frühestens 9 Sekunden nach der ersten RA generiert werden.
- Es müssen noch mindestens 4 Sekunden bis zum berechneten Kollisionszeitpunkt sein.

Diese Bedingungen innerhalb des Algorithmus zur Berechnung des „Reversal“ wurden eingeführt, um häufige „Reversals“ bei TCAS-Ausweichmanövern auszuschließen. Das ist notwendig, um die Vertrauenswürdigkeit des TCAS zu erhalten.

Im Laufe des Sinkfluges der B757-200 und der TU154M wurde keine „Reversal RA“ generiert, weil die Bedingungen dafür nicht gegeben waren.

Rechtliche Vorgaben, Verfahren und Verfahrensanweisungen

Da TCAS II, Version 7 als halbautomatisches System ausgelegt ist und als letztes Sicherheitsnetz („last line of defence“) zur Vermeidung von Kollisionen dienen soll, sind deutliche und unmissverständliche Verfahrensanweisungen für die Crews eine wesentliche Voraussetzung. Diese Voraussetzung ist auch deshalb so wichtig, weil nach der Systemphilosophie von TCAS II, Version 7 nach Erscheinen einer RA nur ein einziges Verfahren vorgesehen ist, nämlich der von TCAS generierten RA zu folgen.

Die Entscheidung, einer RA uneingeschränkt zu folgen, bedeutet unter Umständen auch, dass die Crew bis zur Auflösung der Kollisionsgefahr von anderen verbindlichen Vorgaben, wie zum Beispiel Anweisungen zur Höhenstaffelung der Flugsicherung und anderen allgemein gültigen Ausweichregeln abweichen muss.

Regelungen der Internationalen zivilen Luftfahrtorganisation (ICAO)

Die Festlegung und Veröffentlichung einheitlicher Verfahrensweisen durch die ICAO waren aufgrund der internationalen Bedeutung von TCAS eine wichtige Voraussetzung.

TCAS war in den USA seit dem Jahr 1993 und in Europa und dem Mittleren Osten seit 2000 vorgeschrieben, aber in anderen Teilen der Welt noch nicht gefordert. So war die Installation von TCAS für das Luftfahrtunternehmen der TU154M eine der Voraussetzungen, um europäische Flugziele anfliegen zu können. Für Inlandsflüge innerhalb der Russischen Föderation ist TCAS derzeit nicht gefordert.

Die Veröffentlichungen der ICAO zum Thema TCAS werden durch die BFU wie folgt bewertet:

Annex 2:

Im Annex 2 (Rules of the Air) sind Verfahrensanweisungen für die Nutzung von TCAS nicht ausreichend berücksichtigt.

Die Formulierung:

„*The aircraft that has the right-of-way shall maintain its heading and speed, but nothing in these rules shall relieve the pilot-in-command of an aircraft from the responsibility of taking such action, including collision avoidance manoeuvres based on resolution advisories provided by ACAS equipment, as will best avert collision*“ (Rules of the Air, Chapter 3. 3.2.2 Right-of-way), erlaubte bei einer TCAS RA zwar ein Abweichen von den Ausweichregeln, verdeutlichte aber nicht die für eine RA notwendige konsequente Handlungsweise durch den Luftfahrzeugführer.

Annex 10:

Der Hinweis,

„*Contrary pilot response*“ [...] war sachgerecht und eindeutig, jedoch im Annex 10, wo überwiegend technische Spezifikationen beschreiben sind, ungünstig platziert. Besser wäre dieser Hinweis im Annex 2 oder im Doc 8186.

Doc 8186, PANS-OPS:

Mit dem Doc 8186 sollte die „Operation of ACAS Equipment“ beschrieben werden. Diese Zielsetzung wurde nicht erreicht, weil die Verfahrensbeschreibungen nicht eindeutig und nicht ausreichend waren.

Die Aussagen:

„*assists pilots in operation of the aircraft*“ und „*Nothing in the procedures shall prevent pilots-in-command from exercising their best judgement and full authority in the choice of the course of action to resolve a traffic conflict*“ (3.1.1. bzw. 3.1.2 im Doc 8186)

gaben den Luftfahrzeugführern eine Entscheidungsfreiheit, die nach der TCAS-Systemphilosophie nicht eingeräumt werden durfte. Die Verfahrensforderung, einer RA zu folgen und das durch TCAS geforderte Ausweichmanöver unverzüglich dem für die Höhenstaffelung zuständigen Fluglotsen mitzuteilen, war im Doc 8186 nicht ausreichend deutlich beschrieben. Damit war auch die Situation des zeitlichen Zusammentreffens einer RA mit einer Anweisung des Fluglotsen nicht geregelt.

Doc 4444, PANS-ATM:

Mit der Veröffentlichung des Doc 4444 gab es für die Flugsicherung eine Verfahrensbeschreibung (15.6.3.2), nach der bei Meldung einer TCAS RA durch den Luftfahrzeugführer der Fluglotse den Flugweg bis zur Auflösung der Konfliktsituation nicht beeinflussen soll.

Voraussetzung für die Wirksamkeit dieser Verfahrensanweisung war die zeitgerechte Meldung einer TCAS RA über Funk, da eine automatisierte Bord-Bodenübermittlung nicht vorgesehen war.

State Letter AN 11/19-02/82:

In dem State Letter vom 8. August 1997 waren Verfahren für die Reaktion auf eine RA und auch dafür erforderliche Trainingsverfahren sehr viel deutlicher beschrieben. Die Formulierungen stimmten mit den Verfahrenbeschreibungen im Annex 2 und DOC 8186 jedoch nicht überein, teilweise waren sie widersprüchlich zu interpretieren.

TCAS 2000/TCAS II Traffic Collision and Avoidance System Pilots Guide

Die Ausführungen im „Pilots Guide“ des TCAS Herstellers zur Systemphilosophie von TCAS und die für eine sichere Funktion notwendigen Verfahrensanweisungen waren nicht ausreichend deutlich beschrieben. Die Formulierung „*TCAS 2000 is a backup to the ATC (Air traffic Control) system and the „see and avoid“ concept.*“ konnte so interpretiert werden, dass der Flugverkehrskontrolldienst (ATC) vorrangig ist und TCAS als Hilfsmittel oder Ersatz für diesen Dienst vorgesehen ist. In der Darstellung der Systemphilosophie war nicht erkennbar, dass TCAS ausschließlich als „last line of defence“ zur Vermeidung einer Kollision zum Tragen kommt und in dieser Phase die TCAS-Anweisung von der Anweisung des Fluglotsen losgelöst sein muss.

Aus den Darstellungen im „TCAS 2000 Pilots Guide“ geht nicht ausreichend deutlich hervor, dass die Aufgabe der sicheren Staffelung durch den Flugverkehrskontrolldienst und die Aufga-

be von TCAS zwei voneinander getrennte Funktionen sind. Es wird nicht deutlich, dass TCAS kein Teil der Konzeption der Flugsicherungsdienste ist.

Die Ausführungen im Kapitel 6.1 „*Pilot Responsibilities*“ ließen eine ausreichende Eindeutigkeit nicht erkennen. So wurde einerseits von „Backup für ATC“ gesprochen, andererseits bei entgegengesetzten Anweisungen zwischen Fluglotsen und TCAS aber die Formulierungen gewählt.:

- Must not delay in responding the RA
- Must not modify a response to an RA
- Must follow the RA maneuver, unless invoking „Emergency Pilot Authority“.

Die Ausführungen im „TCAS 2000 Pilots Guide“ waren die Grundlage für TCAS Trainingsmaßnahmen in den Luftfahrtunternehmen und für Verfahrensweisungen in den Flugbetriebshandbüchern.

Flugbetriebsanleitung für die TU154M

Durch den Textabschnitt:

Zur Verhütung von Flugzeugkollisionen in der Luft ist die visuelle Kontrolle der Situation im Luftraum durch die Crew und die korrekte Ausführung sämtlicher Anweisungen der Flugverkehrskontrolle als Hauptmittel anzusehen. Das TCAS-System ist ein zusätzliches Mittel, dass die rechtzeitigen Feststellung entgegenkommender Flugzeuge, die Klassifizierung des Gefahrenpotentials und, falls erforderlich, die Ausarbeitung eines Kommandos zur Durchführung eines vertikalen Manövers gewährleistet.

wurde deutlich, dass die Flugsicherung bei der Vermeidung einer Kollisionsgefahr die höchste Bedeutung hatte.

Regelungen von Eurocontrol

Die Veröffentlichungen von Eurocontrol für Einführung, Training und Nutzung von TCAS hatten alle Empfehlungscharakter.

Die Eurocontrol-Dokumente brachten alle eine klare TCAS-Philosophie und auch eine klare Verhaltens- und Verfahrensweisung nach Anzeige einer RA zum Ausdruck.

Regelungen der JAA

Das JAA Leaflet No. 11 hatte bei dem Unfall keine rechtliche Bedeutung, da die Eintragungs- und Halterstaaten beider Flugzeuge keine JAA-Mitgliedsstaaten waren.

Nationale Vorschriften und Verfahrensweisungen

Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP)

Die Ausführungen zum Thema TCAS im Luftfahrthandbuch Deutschland waren nicht auf dem für TCAS II, Version 7 notwendigen Stand. Inhaltlich bezogen sich einige Aussagen, wie z.B. Erprobung von ACAS/TCAS auf die Einführungsphase.

Die Verfahrensweisung für das Handeln der Flugbesatzungen nach Erscheinen einer RA war nicht ausreichend deutlich formuliert.

Luftverkehrsordnung (LuftVO)

Die Möglichkeit für ein Abweichen von den Ausweichregeln nach § 13 LuftVO ist durch den Abs. 9 gegeben.

Die Formulierung: „*Dies gilt auch für Ausweichmanöver, die auf Empfehlungen beruhen, welche von einem bordseitigen Kollisionswarngerät gegeben werden.*“ räumt den Piloten eine Entscheidungsfreiheit ein, die mit der Systemphilosophie von TCAS II, Version 7, nicht zu vereinbaren ist.

Im Sinne der TCAS-Systemphilosophie ist der Begriff „Empfehlung“ nicht angemessen. Im Falle einer RA kann es für den Piloten nur die Reaktion geben, der RA zu folgen.

Darüber hinaus lässt die Formulierung zwei Interpretationsmöglichkeiten zu:

Der Absatz kann so ausgelegt werden, dass unabhängig von den Ausweichregeln eine RA befolgt werden muss, um den Zusammenstoß zu verhindern.

Der Absatz kann aber auch so ausgelegt werden, dass den Piloten die Möglichkeit eingeräumt wird, sowohl von den Ausweichregeln als auch von einer RA abzuweichen, wenn dies den Zusammenstoß verhindert.

Dies ist zwar theoretisch möglich, aber in der Praxis kaum durchführbar. Es ist grundsätzlich richtig, dem Piloten die letzte Entscheidungsgewalt zu geben, jedoch hat er keine objektivere Entscheidungsgrundlage als TCAS sie geben kann.

Advisory Circular (AC) der Federal Aviation Administration (FAA)

In dem AC, das für die beteiligten Flugzeuge keine rechtliche Bedeutung hatte, waren die Verfahrensweisen nach Erscheinen einer TA/RA sowie die Verantwortlichkeiten (für die einzelnen Flugbesatzungsmitglieder) und die Trainingsmaßnahmen klar und deutlich beschrieben. Dieses Dokument bildete die Trainingsgrundlage für den Halter der B757-200.

TCAS-Ausrüstung in beiden Flugzeugen

TCAS wurde in beiden Flugzeugen nachgerüstet. Dadurch waren die TCAS - Anzeigen innerhalb spezieller Variometer (VSI/TRA) integriert.

Dabei musste ein im Verhältnis zu Flugzeugen, die bereits bei der Herstellung mit TCAS ausgerüstet worden sind und bei denen TCAS im Navigationsdisplay integriert ist, ein sehr kleines Display in Kauf genommen werden.

Das kleinere Display erfordert eine höhere Aufmerksamkeit durch die Crew. Die Anzeige der „Intruder“ mit Symbolen, die ihre Form und Farbe ändern, sowie die Darstellung der Höhendifferenz und Trendinformation können leichter übersehen werden.

2.6 Menschliche Faktoren

Die Untersuchung erstreckte sich auf die drei Arbeitsplätze (ACC Zürich, Cockpit B757-200 und Cockpit TU154M) einschließlich deren Rahmenbedingungen.

2.6.1 ACC Zürich

Für die Auswertung der menschlichen Faktoren wurden die Aufzeichnungen des Funkverkehrs, die Ermittlungen bei dem Flugsicherungsunternehmen der Schweiz, die Aussagen des verantwortlichen Flugverkehrsleiters und anderer Mitarbeiter herangezogen. Insbesondere die Aussagen des Lotsen, der insgesamt viermal angehört wurde, dabei bereitwillig mit den Mitarbeitern der BFU kooperierte und alle Fragen ausführlich beantwortete, waren wesentliche Ausgangspunkte für die Beurteilung der Vorgänge innerhalb des ACC Zürich.

2.6.1.1 Flugverkehrsleiter

Professionalität und Kompetenz

Der Lotse galt bei seinen Kollegen und Vorgesetzten als kompetenter und fähiger Lotse mit einer professionellen und kooperativen Einstellung. Er hatte ein gutes Verhältnis zu den Kollegen, mit denen er zusammenarbeitete und war außerordentlich teamorientiert.

Während seiner gesamten Laufbahn war seine Berufsauffassung davon geprägt durch eine optimale Flugverkehrsführung eine kundenorientierte Dienstleistung im Sinne der Besatzungen zu erbringen.

In der Akte des Lotsen finden sich keine Hinweise auf mögliche fachliche Defizite. Allerdings war der Lotse im Mai 2001 an einer Störung mit einer Staffellungsunterschreitung beteiligt.

Die Störung wurde von der schweizerischen BFU untersucht und teilweise darauf zurückgeführt, dass der Lotse die erforderliche Staffelung zweier Flugzeuge mit kreuzenden Flughöhen falsch beurteilt hatte. Der Konflikt wurde erkannt, wobei die Situation durch die Abwesenheit des zweiten Lotsen zur Überwachung der Verkehrssituation und Unterstützung des Lotsen erschwert worden war.

Das Flugsicherungsunternehmen führte mit dem Lotsen eine 30-minütige Nachbesprechung durch. Der Inhalt der Nachbesprechung wurde nicht dokumentiert. Als Reaktion auf diese Stö-

Die Störung wurde am Radarbildschirm eines jeden Arbeitsplatzes ein rechnergenerierter Entfernungsskalenstrich eingeführt.

Die Störung veranlasste weder die Schweizerische Untersuchungsbehörde noch das Unternehmen, ernsthafte Bedenken bezüglich der Fähigkeiten des Lotsen zu äußern. Sie wurde als ein einzelnes Ereignis in einer ansonsten einwandfreien Laufbahn betrachtet.

Die BFU sieht in dieser Störung und dem Unfall keine Gründe, die es rechtfertigen generelle Zweifel an der Professionalität und der Kompetenz des Lotsen zu begründen.

Bei dem Vergleich dieser Störung mit dem Unfall kann jedoch eine Parallele bezüglich eines systemischen Schwachpunktes gezogen werden. Beide Vorfälle ereigneten sich, als ein einziger Lotse einen Sektor betreute. Es gab keine personelle Redundanz, um Lotsenfehler zu entdecken, und es zeigte die Wichtigkeit des STCA als Schutzeinrichtung.

Die Ermittlungen ergaben, dass das Flugsicherungsteam zuvor gut zusammengearbeitet und den Betrieb professionell und kompetent durchgeführt hatte. Das Verhalten des Lotsen entsprach den Erwartungen seiner Kollegen und war nicht nur auf die Kontrolle der Flugverkehrssituation, sondern auch auf die Arbeit im Team ausgerichtet. Für den Sprechfunkverkehr mit den Flugbesatzungen benutzte er die Standard-Sprechgruppen oder geeignete Formulierungen und kommunizierte in wirksamer Weise mit anderen Personen im Kontrollraum.

Aufgabenerledigung und -verteilung

Die Atmosphäre im Kontrollraum des ACC Zürich war allgemein freundlich und konzentriert. Die Personalbesetzung zum Zeitpunkt des Ereignisses entsprach weder der Dienstplanvorgabe noch entsprachen die Rahmenbedingungen aufgrund der technischen Arbeiten einer normalen Nachtschicht.

Der Lotse arbeitete ohne einige im Normalbetrieb vorhandene Funktionen, die dazu dienen Fehler rechtzeitig zu erkennen. Ihm standen das optische STCA, die automatische Korrelation und der Entfernungsskalenstrich nicht zur Verfügung, jedoch hätte der Verlust dieser Funktionen die durch das System gebotene Sicherheit nicht notwendigerweise reduziert, wenn Prozesse zum Ausgleich dieser fehlenden Funktionen eingeführt worden wären.

- Der Verlust des STCA wurde nicht durch eine erhöhte Bewusstheit oder durch menschliche Redundanz ausgeglichen
- Durch manuelle Korrelation hätte das entsprechende Rufzeichen mit dem Radarsymbol verknüpft werden können
- Das Fehlen des Entfernungsskalenstriches hätte normalerweise für einen Lotsen kein wesentliches Problem bedeutet, doch bei Benutzung von zwei Radarmonitoren mit unterschiedlicher Entfernungsbereichseinstellung war das Potenzial für eine Fehleinschätzung der Staffelungen beträchtlich erhöht.

Der verspätete und unerwartete Anflug eines Luftfahrzeugs auf den Flughafen Friedrichshafen hatte einen negativen Einfluss auf die Situation. Als der Lotse seinen Kollegen in die Pause entließ, war beiden nichts von dem Anflug des A320 auf Friedrichshafen bekannt. Somit konnte er die Notwendigkeit nicht vorhersehen, den ARFA-Sektor und den gesamten Luftraum des ACC Zürich gleichzeitig kontrollieren zu müssen.

Anmerkung:

Laut ATM-Handbuch Zürich muss der Lotse der Radarführung eines anfliegenden Luftfahrzeugs seine ungeteilte Aufmerksamkeit widmen; somit hätten die Umstände mindestens zwei Lotsen erforderlich gemacht.

Obwohl der Lotse einige der Aufgaben des Dienstleiters (DL) übernommen hatte, versuchte er weiterhin, die sich entwickelnde Situation auf die ihm am meisten vertraute Art und Weise zu bewältigen, nämlich in seiner Funktion als Lotse.

Dabei betrachtete er die Situation nicht unter dem Aspekt der DL-Anweisung:

- Anordnen von Maßnahmen aufgrund der Betriebssituation und Verkehrslage unter Einbezug von relevanten Informationen
- Entscheiden gegenüber SYMA über die Zulassung von Arbeiten an technischen Anlagen und Einrichtungen

Er war nicht darauf aufmerksam gemacht worden, dass dem technischen Team ein zusätzlicher SYMA sowie ein Lotse und ihm ein Techniker zugeteilt worden war. Somit griff er nicht auf de-

ren Unterstützung zurück, um die technischen Arbeiten dieser Nacht in Einklang mit seinen Anforderungen an die Arbeitsumgebung zu bringen.

Als der Lotse von den Technikern gebeten wurde, seinen Arbeitsplatz in den Fallback-Modus umzuschalten, war er sich keiner Faktoren bewusst, die dagegen sprachen. Jedoch war der Lotse (wie auch der größte Teil der befragten Lotsen des ACC Zürich) mit den in den Fallback-Modi nicht mehr verfügbaren Funktionen nicht vollständig vertraut. Er konnte die weitere Entwicklung der Situation im Kontrollraum nicht voraussehen; so erkannte er auch nicht den möglichen Einfluss, den der Betrieb im Fallback-Modus auf die Kontrolle des Flugverkehrs haben würde.

Als ein Techniker den Lotsen fragte, ob die Telefonanlage SWI-02 abgeschaltet werden könne, verneinte dieser zunächst, da er die Anlage unmittelbar brauchte. Einige Minuten später jedoch wurde er von dem seine Schicht beendenden SYMA angesprochen und nochmals um Erlaubnis zum Abschalten der Anlage SWI-02 gebeten. Dieses Mal überließ er den Technikern die Anlage.

Die Telefonanlage SWI-02 wurde abgeschaltet, und die benachbarten Flugverkehrskontrollstellen hätten davon unterrichtet werden müssen. Obwohl dieses im ATM-Handbuch Zürich ausdrücklich festgelegt war, wurde die Zuständigkeit für diese Aufgabe keiner bestimmten Person/Funktion zugeordnet. Die benachbarten Kontrollstellen wurden davon nicht unterrichtet und somit stand dem Lotsen die potenzielle Unterstützung dieser Dienste nicht mehr zur Verfügung.

Als der Lotse über die Bypass-Anlage keine Verbindung zu Friedrichshafen herstellen konnte, bat er einen der CA eine andere Telefonnummer herauszusuchen. Als er mit dieser Telefonnummer keinen Erfolg hatte, diskutierte er die Möglichkeiten, die Informationen über München weiterleiten zu lassen oder die Techniker anzusprechen, bevor er sich für die Option entschied, die Besatzung des A320 aufzufordern, direkt mit Friedrichshafen Kontakt aufzunehmen. In dem Notfallhandbuch waren die drei dem Flugsicherungspersonal zur Verfügung stehenden Telefonanlagen aufgelistet. Das war dem jedoch Lotsen nicht bekannt und daher zog er die Benutzung des Mobiltelefons am Arbeitsplatz des Dienstleiters nicht in Erwägung.

Ausgehend von seiner Einschätzung ist es nachvollziehbar, dass der Lotse keine Veranlassung sah, seinen Kollegen aus der Ruhepause zurückzurufen. Wenn er den Konflikt im oberen Luftraum früher bemerkt hätte, hätte er die Situation ohne Unterstützung durch einen anderen Lotsen bereinigen können.

Team-Management

Als der Lotse seinen Kollegen in eine ausgedehnte Ruhepause entließ, übernahm er die Aufgaben des RE, des RP und Teilaufgaben des DL. Er wurde von einem Lotsenassistenten unterstützt. Er war sich der möglichen Unterstützung durch den Lotsen, der dem Techniker-Team zugeteilt war, den anwesenden SYMA und den ihm zugeteilten Techniker, nicht bewusst.

Obwohl der Lotse keine Schulung als DL erhalten hatte, war er sich dieser Pflichten bewusst. Er war jedoch besser vertraut mit seiner Lotsenrolle im Zentrum des operativen Teams. Weniger vertraut war er mit den feinen Unterschieden bei der Überwachung des ATM-Systems im Kontrollraum; einem in seiner Gesamtheit hoch entwickelten sozio-technischen System. Normalerweise konnte der Lotse, wenn er Hilfe benötigte, den DL um Unterstützung zu bitten. Eine effiziente Beaufsichtigung des Systems durch einen DL könnte sicherstellen, dass dem Lotsen als „letztes Glied in der Kette“ die entsprechenden Ressourcen zur Verfügung stehen, um die Verkehrssituation bestmöglich zu bewältigen.

Für das Kontrollpersonal entsprach die in der Nacht des 1. Juli 2002 erforderliche Handhabung der Ressourcen des Kontrollraums nicht derjenigen, die normalerweise bei der Erledigung der täglichen Aufgaben notwendig war. Hier kamen viele Faktoren (einige davon vorhersehbar, andere nicht) zusammen und veränderten die Arbeitsumgebung von einer benutzerfreundlichen, fehlertoleranten hin zu einer mit erhöhtem Risiko, die Fehler weniger verzieh. Insbesondere unter Bedingungen, unter denen Fehler auftreten können, wurden höhere Anforderungen an die TRM-Fähigkeiten gestellt und eine erhöhte Bewusstheit für die Vielzahl menschlicher Schwächen gefordert.

Als die technischen Arbeiten begonnen wurden, ging der Lotse davon aus, dass er die zu erwartenden Anforderungen meistern würde. Mit fortschreitender Entwicklung der Ereignisse wurden jedoch die Arbeitsbedingungen belastender und anfälliger für Fehler.

Mit dem Radarsystem im Fallback-Modus, einem Problem mit der Telefonanlage und dem verspäteten Anflug auf Friedrichshafen hätte am Arbeitsplatz SUED mindestens ein weiterer Lotse anwesend sein müssen. Aufgrund der Erkenntnis, dass das System Sicherheitslücken aufwies, hätte normalerweise ein DL entsprechende Entscheidungen treffen müssen.

Der Lotse versuchte die Verkehrssituation unter Verwendung der ihm zur Verfügung stehenden und vertrauten Ressourcen zu bewältigen. Er erkannte nicht, dass das System in der sich zuspitzenden Situation weniger fehlerresistent war.

Situationsbewusstsein und mentale Arbeitsbelastung

Der Mensch verfügt auf der Bewusstseinssebene nur über einen begrenzten Aufmerksamkeitsumfang. Wenn dieser begrenzte Umfang zwischen mehreren anspruchsvollen Aufgaben aufgeteilt werden muss, wie im Fall des Lotsen, ist eine kontinuierliche detaillierte Analyse aller eingehenden externen Informationen nicht möglich. Unter solchen Bedingungen kann vieles von dem, was bewusst wahrgenommen erscheint, tatsächlich nur auf einer Schlussfolgerung beruhen. Das Wahrgenommene ist eine Kombination aus objektiven externen Informationen und subjektiven Informationen aus dem Gedächtnis. Das bedeutet, dass Menschen unter Bedingungen geteilter Aufmerksamkeit, eher das wahrnehmen, was sie wahrzunehmen erwarten, bzw. das nicht wahrnehmen, was sie auch nicht erwarten oder was ihnen nicht vertraut ist.

Situationsbewusstsein kann definiert werden als die genaue Vorstellung von Faktoren und Bedingungen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt die sichere und effiziente Erledigung einer zugewiesenen Aufgabe beeinflussen. Erst der Austausch von Informationen unter allen Teammitgliedern ermöglicht ein gemeinsames und genaueres mentales Abbild einer Situation und erlaubt die Vorhersage einer Entwicklung.

Ein normalerweise effektives Team kann aus dem Gleichgewicht geraten und das Situationsbewusstsein verlieren, wenn sich die Arbeitsumgebung verändert, wenn eine kleine und unbemerkte Verschiebung der Prioritäten des Teams eintritt oder wenn sich die Gruppendynamik ändert. In solchen Situationen kann es sein, dass die Beurteilung der Team-Situation eine höhere Priorität hat als die unmittelbare Konzentration auf die eigentliche Aufgabe.

Während der Lotse normalerweise auf die Verkehrssituation konzentriert bleibt, kann sich der DL, wenn er von einer außergewöhnlichen Situation unterrichtet wird, mehr um die Beurteilung der betrieblichen und personellen Erfordernisse kümmern, um einen sicheren und effizienten Betrieb zu gewährleisten.

Flugverkehrssituation

Der Lotse war es gewohnt, in den verkehrssarmen Zeiten bei Nacht als einziger Lotse für den gesamten Luftraum des ACC Zürich tätig zu sein. Normalerweise war die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins mit Unterstützung des Assistenten und unter Verwendung der normalen Ressourcen nicht schwierig. Unter diesen Bedingungen bestand eher die Gefahr, dass der Lotse das Situationsbewusstsein wegen zu geringer als wegen zu hoher Arbeitsbelastung verlor.

Während der früheren Abendstunden arbeitete der Lotse auf eine Art und Weise, die zeigte, dass er die Verkehrssituation und den typischen Ablauf der Ereignisse in seinem Arbeitsbereich vollständig überblickte. Nachdem der DL und der andere Lotse der Nachtschicht den Kontrollraum verlassen hatten, begann sich die Situation auf eine untypische Art und Weise zu entwickeln. Der Lotse passte seine Vorgehensweise an diese Entwicklungen, so wie er sie wahrnahm, an, z.B.:

- Als das Radarsystem in den Fallback-Modus geschaltet wurde, erinnerte sich der Lotse, dass die Staffelung jetzt auf 7 NM festgelegt war.
- Als er der B757-200 einen neuen Transponder-Code zuwies, verlor er das automatisch korrelierte Rufzeichen. Er versuchte das Rufzeichen dem Radarsymbol manuell zuzuordnen.
- Als er von dem verspäteten Anflug des A320 auf Friedrichshafen erfuhr, stellte er den ARFA-Sektor auf dem Arbeitsplatz RE ein und versuchte, Verbindung zum dortigen Kontrollturm herzustellen.

Bei der Einschätzung der anstehenden Verkehrsregelungsaufgaben für die Nacht ging der Lotse davon aus, dass er jederzeit den Überblick über die Lage haben würde.

Er hatte jedoch nicht frühzeitig erkannt, dass sich ein möglicher Konflikt zwischen der TU154M und der B757-200 entwickeln könnte. Wenn er das erkannt hätte, hätte sich damit seine Vor-

stellung von der Verkehrssituation verändert. Die Situation wäre dann mit einer einfachen und rechtzeitigen Anweisung zu bereinigen gewesen.

Zunächst räumte der Lotse der Abfertigung des verspäteten Anfluges des A320 auf Friedrichshafen eine hohe Priorität ein, wie aus der Einrichtung des Arbeitsplatzes ARFA und dem Versuch, mit Friedrichshafen zu koordinieren, ersichtlich wird. Das entsprach den Forderungen des ATM-Handbuches, lenkte jedoch von der Aufgabe der Beurteilung und Planung der Situation im oberen Luftraum ab.

Als der A320 sich dem ARFA-Sektor näherte, versuchte der Lotse den Anflug mit Friedrichshafen zu koordinieren. Die Fehlfunktion der Telefonanlage nahm seine Aufmerksamkeit länger in Anspruch als beabsichtigt. Der Betrieb der Funkgeräte an den Arbeitsplätzen RE und RP führte dazu, dass Funksprüche gleichzeitig ankamen, die beide der Aufmerksamkeit bedurft hätten. Die Verwendung von zwei Radarmonitoren, die auf unterschiedliche Maßstäbe eingestellt waren, könnte bei dem Lotsen zu einer Beeinträchtigung in der Einschätzung der Entfernungen geführt haben.

Bei regelmäßiger Beobachtung der auf dem Radarmonitor dargestellten Situation im oberen Luftraum hätte der Konflikt zwischen den beiden Flugzeugen in FL360 für den Lotsen offensichtlich werden müssen. In der sich zuspitzenden Situation nahm die Arbeitsbelastung des Lotsen jedoch unmerklich und kontinuierlich zu und reduzierte sein Vermögen, sich der Situation im oberen Luftraum bewusst zu sein und diese pro-aktiv zu kontrollieren.

Hätte das visuelle STCA zur Verfügung gestanden, wäre die Warnung auf beiden Radarmonitoren angezeigt worden. Sie hätte die Aufmerksamkeit des Lotsen darauf gelenkt und er hätte durch eine sofortige Anweisung die Staffelungsunterschreitung vermeiden können. Dadurch wäre die Auslösung eines TCAS-Ereignisses verhindert worden.

Der Lotse war zu spät auf den Konflikt aufmerksam geworden. Als er die Anweisung zum Sinkflug an die TU154M beendet hatte, war die Staffelung unterschritten. Dennoch hätte die Anweisung den Zusammenstoß noch verhindert, wenn TCAS nicht eingegriffen hätte, wovon der Lotse aber zu diesem Zeitpunkt nichts wissen konnte.

Nach Bestätigung der Sinkflughinweisung durch die TU154M-Crew erklärte der Lotse: „Ja, we have traffic at your two o'clock position, now at three six zero“. Obwohl dieser Ruf nicht an ein bestimmtes Rufzeichen gerichtet war, war es eindeutig, dass er sich an die TU154M richtete, da er auf den Funkspruch dieser Besatzung folgte. Zum Zeitpunkt dieses Funkspruchs befand sich die B757-200 in der 10-Uhr-Position der TU154M.

Diese unzutreffende Verkehrsinformation kann ein einfacher Fehler gewesen sein, bei dem der Lotse das Spiegelbild der Situation meldete. Es ist ebenso möglich, dass der Fehler aus einer Anzahl verschiedener, anderer Faktoren resultierte.

Nach dem der Lotse den eingeleiteten Sinkflug auf dem Daten-Label der TU154M erkannt hatte – so seine Aussage - wandte er sich wieder dem Arbeitsplatz RE zu, um auf den Ruf der A320-Crew zu reagieren. Der zuletzt erfolgte Funkspruch der A320-Crew überlappte die Meldung „TCAS descent“ der B757-200-Besatzung, die der Lotse nicht wahrnahm.

Der Lotse war sich sicher, dass die Sinkflughinweisung an die TU154M und der von ihm beobachtete Sinkflug rechtzeitig erfolgte, um die Gefahr eines Zusammenstoßes abzuwenden, da er ansonsten die Entwicklung der Situation weiter beobachtet hätte.

Selbst wenn der Lotse erkannt hätte, dass sich neben der TU154M auch die B757-200 im Sinkflug befand, ist nicht sicher, dass er in der zur Verfügung stehenden Zeit noch eine Anweisung hätte konzipieren und formulieren können, die den Zusammenstoß sicher verhindert hätte. Nachdem die TU154M und die B757-200 den Sinkflug einmal eingeleitet hatten, war das Ergebnis dem Zufall überlassen.

Um 21:34:37 Uhr war die Telefonanlage SWI-02 wieder zugeschaltet worden und von 21:34:44 Uhr bis zum Zusammenstoß wurden drei eingehende Anrufe vom UAC Karlsruhe und ein Anruf aus Friedrichshafen aufgezeichnet. Keiner dieser Anrufe wurde beantwortet. Zu dieser Zeit war der Lotse mit der Situation im oberen Luftraum beschäftigt, bis er von der A320-Crew zum ARFA-Sektor zurückgerufen wurde. Es ist darüber hinaus sehr wahrscheinlich, dass der Lotse nicht auf das Telefonklingeln reagiert hatte, da das Telefonsystem ihm noch nicht wieder betriebsbereit gemeldet wurde.

Der Lotse war der Meinung, dass er die Situation, in der er sich befand, meistern könne. Er äußerte keinen Zweifel, dass er unter den sich entwickelnden Umgebungsbedingungen arbeiteten

könne. Er konzentrierte sich auf seine Aufgaben als Lotse und betrachtete jedoch nicht im vollen Umfang, ob ihm dafür auch die notwendigen Ressourcen zur Verfügung standen. Er befand sich nun im Zentrum eines Systems, das anfälliger gegenüber unentdeckten Fehler geworden war. Er hatte nicht mehr länger die Unterstützung durch das gut ausgebaute sozio-technische System, das er gewohnt war.

Anmerkung:

Der Lotse hatte während seiner Ausbildung in den frühen neunziger Jahren oder danach keine Schulung über menschliche Faktoren oder Team Ressource Management (TRM) erhalten.

Ohne eine solche Ausbildung hing die von ihm entwickelte Team-Fähigkeit einzig von seiner Persönlichkeit ab und wurde durch seine individuellen Erfahrungen und Lernprozesse gefördert. Auch so entwickelte sich ein Verständnis von menschlichen Fehlern aber nicht durch die Vorteile einer strukturierten Schulung.

Die Anfangsschulung der Lotsen – so wie sie ab November 2003 vorgesehen ist - umfasst Module, die dem Lotsen Wissen über die auf seine Aufgaben bezogenen menschlichen Faktoren vermitteln sollen. Hierbei werden die Auswirkungen von Stress auf die Leistung und menschliche Fehler sowie fehleranfällige Bedingungen betrachtet.

Das TRM-Konzept durchdringt die gesamte Ausbildungsstruktur und zielt darauf ab, Einstellungen und Verhaltensweisen zu vermitteln, die zu einer verbesserten Team-Leistung führen. Die darin behandelten Vorteile des Anbietens und Annehmens von Unterstützung sollen den Gewinn verdeutlichen, der sich durch ein Bitten um Hilfe ergibt; es kann das Team-Verständnis über eine Situation voranbringen, bei der Stressbewältigung helfen und das Risiko verringern, dass eine Einzelperson oder das Team einen Fehler begeht.

Mit diesen Schulungsinhalten soll den Lotsen die Befähigung vermittelt werden Gefahren rechtzeitig zu erkennen.

Ohne so geschult zu sein, konzentrierte sich der Lotse auf die Verkehrskontrolle und war weniger in der Lage zu erkennen, dass er sich in einer fehleranfälligeren Arbeitsumgebung befand und Unterstützung benötigte.

Arbeitsbedingungen im Kontrollraum (CIR)

Der Lotse arbeitete an zwei verschiedenen Arbeitsplätzen unter Verwendung von zwei Radarmonitoren, die auf unterschiedliche Entfernungsbereiche eingestellt waren, mit zwei separaten Funkgeräten, mit einem Fehler in der Telefonanlage, mit der Ablenkung durch Techniker, dazu ohne über ein funktional vollständiges Radarsystem oder die Unterstützung durch einen zusätzlichen Lotsen zu verfügen.

Die Arbeitsbedingungen im Kontrollraum entsprachen nicht dem, was der Lotse gewohnt war. Als die technischen Arbeiten geplant wurden, waren zumindest einige Konsequenzen vorhersehbar, aber Maßnahmen zur Minimierung der Risiken wurden nicht ergriffen.

2.6.1.2 Andere Mitarbeiter

Innerhalb eines jeden Teams ist es wichtig, dass der Einzelne die Ziele und seine Verantwortung für die Aufgaben des Teams versteht. Ziel ist es, einen sicheren und effizienten Flugsicherungsdienst zu gewährleisten, wobei das Flugsicherungsteam von den menschlichen und technischen Ressourcen des Gesamtsystems unterstützt werden sollte.

Jeder, der das Team beim Erreichen dieses Zieles beeinflussen kann, muss sich seines Einflusses auf dessen sicherheitskritische Funktion und damit seiner Verantwortung bewusst sein. Diese Verantwortung sollte bei gelebter Sicherheitskultur selbstverständlich sein. Von jedem, der in einem sicherheitskritischen Bereich arbeitet, wird persönlicher Einsatz und ein Bewusstsein für seine Verantwortlichkeit erwartet. Der Einzelne hat nicht nur sicherheitsrelevante Faktoren zu erkennen sondern ihnen auch mit entsprechenden Maßnahmen zu begegnen.

Im Kontrollraum hatte das Verhalten nachfolgender Personen im Zeitraum des Ereignisses einen bedeutsamen Einfluss auf die Arbeit des operativen Kontrollpersonals:

- Der zweite Flugverkehrsleiter verließ den Kontrollraum für eine ausgedehnte Pause, kurz nachdem der DL seinen Dienst beendet hatte. Das geschah in Übereinstimmung mit dem verbleibenden Lotsen und entsprach dem üblichen Verfahren in der Nachtschicht. Für den

zweiten Lotsen deutete nichts darauf hin, dass die Pause aufgrund von besonderen Umständen im Kontrollraum nicht angebracht sein könnte.

Beide Lotsen hatten die Informationen am Mitteilungsbrett über die technischen Arbeiten nicht gelesen. Die dazugehörige „Technische Direktive“ hatte nicht erkennen lassen, dass für die Dauer der Arbeiten zwei Lotsen angemessen gewesen wären. Bei der Übergabe an die beiden Lotsen hatte der Dienstleiter den Einfluss der Sektorisierungsarbeiten auf das System weder besonders erläutert noch hatte er vorgeschlagen, dass beide Lotsen im Kontrollraum verbleiben sollten.

Nachdem der zweite Lotse den Kontrollraum verlassen hatte, hätte er erst nach erfolgter Alarmierung wieder tätig werden können.

- Zwei Lotsenassistenten waren im Kontrollraum, als die Techniker mit den Sektorisierungsarbeiten begannen. Als das Problem in der Bypass-Telefonanlage offensichtlich wurde, wurde einer der Lotsenassistenten gebeten, die Telefonnummer von Friedrichshafen herauszusuchen. Der Anruf unter dieser Rufnummer war erfolglos. Der andere Lotsenassistent diskutierte kurz mit dem Lotsen darüber, wie Friedrichshafen am besten zu erreichen sei. Danach ging auch er in die Pause und verließ den Kontrollraum.

Die Kommunikation und Koordination zwischen dem Lotsen und den Lotsenassistenten verlief effektiv und entsprach den gesetzten Prioritäten. Der Lotse setzte diese Prioritäten, da von ihm erwartet wurde, dass er das Sektor-Team leitete und Routineaufgaben an den CA delegierte.

Keiner der Assistenten erkannte ein Problem bezüglich der gesetzten Kontroll-Prioritäten, jedoch ist ein CA für die Beobachtung der Verkehrssituation weder ausgebildet noch wird eine solche Tätigkeit von ihm erwartet. Aus den Aussagen der betroffenen Lotsenassistenten geht hervor, dass sie sich mit einer Beurteilung des operativen Geschehens zurückhalten, da so etwas von einigen Lotsen als eine Überschreitung der Kompetenzen betrachtet wird.

Mindestens einer der beiden Assistenten hatte das Gefühl, dass der Lotse verärgert war, als er mit den Technikern verhandelte, was ihn aber nicht zu weiteren Überlegungen veranlasste. Einer der Assistenten wusste von dem Mobiltelefon am Dienstleiterpult, erwähnte es jedoch nicht.

Keiner der Assistenten erkannte, welche Auswirkung der zunehmende Druck hatte, unter dem der Lotse mit schlechter werdenden Arbeitsbedingungen stand. Sie hätten auch nur wenig direkte Hilfe anbieten können und sie äußerten keine Besorgnis oder fragten, ob der Lotse weitere qualifizierte Unterstützung benötigen würde.

- Der Dienstleiter, der seine Schicht um 21:00 Uhr beendete, unterwies die Lotsen, ging jedoch nicht besonders auf spezifische Anforderungen im Zusammenhang mit den technischen Arbeiten ein. Er war der Meinung, dass dafür der SYMA zuständig sei. Die Sektorisierungsarbeiten beeinflussten jedoch die betrieblichen Aspekte der Systeme im Kontrollraum in einer Weise, die den Aufgabenbereich eines DL betrafen.

Er erkannte nicht die Sicherheitsproblematik und schlug keine geeignete Maßnahmen zur Verringerung eines möglichen Risikos vor, z.B., dass beide Lotsen für die Dauer der technischen Arbeiten am Arbeitsplatz bleiben.

Die technischen Arbeiten hätten allerdings eine weitergehende strategische Planung im Vorfeld verlangt und nicht allein dem taktischen Management eines DL überlassen werden dürfen.

- Die beiden Systemmanager unternahmen nichts um den Lotsen umfassend über die Auswirkungen der technischen Arbeiten zu informieren, insbesondere über die nicht mehr vorhandenen Funktionen beim Betrieb des Radarsystems im Fallback-Modus.

Bevor der eine SYMA seinen Dienst beendete, bat er den Lotsen, die Telefonanlage SWI-02 freizugeben und er versicherte ihm, dass die Anlage nach etwa 15 Minuten wieder verfügbar sei und dass die Bypass-Anlage zur Verfügung stehe. Die Zeiteinschätzung war korrekt, jedoch konnte er nicht wissen, dass die Bypass-Anlage nicht wie erwartet funktionieren würde.

Die tatsächlichen Veränderungen an den Systemen im Kontrollraum im Rahmen der Sektorisierungsarbeiten entsprachen der technischen Vorplanung. Die Systemmanager und das technische Personal waren nicht darüber informiert, dass keine zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung des Sicherheitsstandards getroffen worden waren.

Es schien ihnen auch nicht bewusst gewesen zu sein, dass während der technischen Arbeiten ein erhöhter Anforderungsdruck und eine erhöhte Arbeitsbelastung auf dem Lotsen lastete.

- Ein Lotse/ Technischer Experte war in Verbindung mit den technischen Arbeiten mit Aufgaben im Kontrollraum betraut. Er war Ansprechpartner zwischen den Abteilungen Betrieb und Technik.

Es war nicht geplant, dass er als Lotse arbeitete, da seine Aufgabe mit der Arbeit der Techniker in Verbindung stand. Daraus ergab sich, dass er die Techniker bezüglich der Schnittstelle zu den betrieblichen Systemen unterstützte und nicht die Auswirkungen der technischen Arbeiten auf das operative Flugsicherungspersonal überwachte.

- Der Systemexperte war direkt dem Leiter ACC Zürich unterstellt und während der Sektorisierungsarbeiten als Ansprechpartner seitens der Technik für den Lotsen vorgesehen und hielt sich in der Nähe des Sektor SUED auf.

Für den Lotsen war der Systemexperte lediglich ein weiterer Techniker, über dessen konkreten Auftrag er nicht informiert worden war.

2.6.1.3 Schutzmechanismen

Schutzmechanismen sind Maßnahmen, mit denen ein System vor den Folgen technischer und/oder menschlicher Fehler geschützt werden soll. Der Mensch handelt in diesem System nicht allein, sondern ist ein Element in einem komplexen sozio-technischen System.

Die moderne Technologie der Flugsicherung hat die Einführung effektiver und zuverlässiger Schutzmechanismen innerhalb der Hardware- und der Software-Elemente des Systems ermöglicht. Diese Schutzmechanismen wurden im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf den „Faktor Mensch“ und ihre Vorteile für ihn eingebracht. Sie können auf strategischer oder auf taktischer Ebene eingesetzt werden. So erlaubt z.B. die Verkehrsflusssteuerung die Steuerung des Luftverkehrs unter Sicherstellung eines Gleichgewichtes zwischen den Anforderungen der Luftfahrtunternehmen auf der einen und der sicheren Kapazität des Systems auf der anderen Seite. Die Systeme im Kontrollraum sind so ausgelegt, dass sie dem Lotsen helfen, sich vor Fehlern während der Arbeit zu schützen, indem sie auf Fehler hinweisen und somit die Voraussetzung dafür schaffen, diese zu korrigieren.

Für einen kontinuierlichen sicheren Betrieb des Systems muss es nicht nur technisch, sondern insbesondere auch als ein aufeinander abgestimmtes sozio-technisches System gepflegt werden.

Im folgenden Teil dieser Analyse werden die Schutzmechanismen im System betrachtet, die diesen Unfall hätten verhindern können.

Planung und Struktur

Das System Flugsicherung ist darauf abgestimmt, menschliche und technische Komponenten unter Berücksichtigung der Fähigkeiten und Grenzen der Subsysteme zu einem ausgewogenen Gesamtsystem zusammenzufügen, um einen sicheren und effizienten Flugverkehr aufrechtzuerhalten. Ein Leistungsabfall in einem Subsystem kann einen Einfluss auf die Sicherheit oder Leistungsfähigkeit des anderen Subsystems haben.

Vorhersehbare technische Arbeiten sollten - gemäß ICAO Doc 4444 ATM/501 - angemessen geplant werden und eine Risikobewertung beinhalten. Dadurch ist es möglich, entsprechende Strategien bereitzustellen, mit denen ein erhöhtes Risiko auf ein akzeptables Maß reduziert werden kann. Ebenso sollten Quellen potenzieller menschlicher und systemischer Fehler im täglichen Routinebetrieb untersucht werden, um Risiken zu erkennen. So könnten Prozesse und Verfahren entwickelt werden, um fehlerbehaftete Situationen innerhalb kurzer Zeit zu bereinigen.

Betriebsverfahren

Bei ACC Zürich wurde eine Situation geduldet, in der ein einziger Lotse mit Unterstützung durch einen Assistenten für die Regelung des Flugverkehrs während verkehrsarmer Zeiten in der Nacht zuständig war. Die dazu gehörenden Abläufe und Verfahren waren weder schriftlich festgelegt noch waren die damit verbundenen Risiken berücksichtigt oder durch Schutzmaßnahmen minimiert worden. Durch die reduzierte Personalstärke war die Wirksamkeit der Schutzme-

richtungen des Gesamtsystems eingeschränkt, insbesondere in einem Zeitraum mit reduzierten technischen Systemfunktionen.

Die Lotsen im Kontrollraum waren nicht mit klaren und schnell verfügbaren Richtlinien für die Handhabung außergewöhnlicher Situationen und für das Verhalten bei Ausfall von Systemfunktionen ausgestattet worden. Solche Richtlinien würde es einem Lotsen erlauben, sich im Voraus mit den Auswirkungen unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf das System und die daraufhin einzuleitenden notwendigen Maßnahmen vertraut zu machen. Sie wären ein hilfreiches Referenzdokument, das der Lotse im Sinne einer Handlungsanweisung nutzen könnte, sofern die zur Verfügung stehende Zeit es ihm gestattet.

Informationsaustausch

Sicherheitskritische Informationen müssen dem operativen Team mitgeteilt werden, damit es sich auf die gegebenen Arbeitsbedingungen einstellen kann. Unabhängig von dem Nutzen oder der Relevanz kann eine Information ihre Funktion nur dann erfüllen, wenn sie geeigneter Form übermittelt wird.

Die Übergabe des Dienstes vom Dienstleiter an die Lotsen war eine Standardmaßnahme, die in Form eines Briefings die Lotsen vollständig über die Betriebsbedingungen informieren sollte. Ein solches Briefing hätte grundlegende Informationen über geplante Maßnahmen, eine Beurteilung der operativen Risiken und Hinweise auf außergewöhnliche Faktoren beinhalten müssen.

Zusätzliche Informationsquelle waren die Informationen am Mitteilungsbrett. Sie hatten die Risiken in Verbindung mit den technischen Arbeiten nicht effektiv vermittelt, da sie die operativen Auswirkungen auf die Systeme im Kontrollraum nicht ausreichend in den Blickpunkt stellten. Selbst wenn die entsprechenden Informationen vorhanden gewesen wären, hätten sie ihr beabsichtigtes Ziel nicht erreicht, da keiner der beiden Lotsen sie gelesen hatte.

Der DL gab, bevor er seinen Dienst beendete, einen allgemeinen Hinweis an die Lotsen der Nachtschicht über die durchzuführenden technischen Arbeiten. Er legte keinen Schwerpunkt auf irgendwelche operativen Aspekte.

Bevor der SYMA den Raum verließ, teilte er den Lotsen mit, dass die Techniker die Telefonanlage SWI-02 für ihre Arbeit benötigten. Er unterrichtete den am Arbeitsplatz tätigen Lotsen (der andere Lotse hatte sich zur Ruhepause zurückgezogen) jedoch nicht über die Auswirkungen der technischen Arbeiten auf den betrieblichen Ablauf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Lotsen, wären sie klar und eindeutig auf die operativen Auswirkungen der technischen Arbeiten hingewiesen worden, sich bessere Vorstellungen von den geänderten Arbeitsbedingungen hätten machen können. Sie hätten besser die erhöhten Risiken abschätzen und sich auf die veränderten Anforderungen einstellen können.

2.6.1.4 Warneinrichtungen

Das STCA (Short Term Conflict Alert) ist ein Warnsystem, das den Lotsen vor möglichen Staffellungsunterschreitungen warnt. Dieses System wurde zum Schutz gegen Zusammenstöße eingeführt. Die Verantwortung für die Bereinigung der Konfliktsituation liegt beim Lotsen.

Optisches STCA

Hätte das optische STCA zur Verfügung gestanden, wäre eine Warnung etwa 2,5 Minuten vor dem Zusammenstoß und fast 2 Minuten, bevor der Lotse seine Sinkfluganweisung an die TU154M begann, ausgelöst worden. Sie wäre auf den Radarmonitoren (RP und RE) angezeigt worden und hätte die Aufmerksamkeit des Lotsen auf die entstandene Situation im oberen Luftraum gerichtet. Der Lotse hätte hinreichend Zeit gehabt, Anweisungen zur Vermeidung einer Staffellungsunterschreitung zu erteilen. TCAS wäre in dieser Situation nicht aktiv geworden.

Der Lotse war sich bewusst, dass im Fallback-Modus die Staffelung heraufgesetzt werden musste. Nicht bewusst war ihm jedoch, dass das optische STCA nicht vorhanden war. Ein entsprechendes Briefing oder eine automatische Systemwarnung existierten ebenso wenig wie schnell verfügbare Unterlagen zur Selbstinformation der Lotsen.

Obwohl ein Lotse den Flugverkehr nicht in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des optischen STCA unterschiedlich regeln sollte, kann er, wenn er weiß, dass das optische STCA fehlt, seine

Planungs- und Beurteilungsprozesse anpassen und konservativer an die Staffelung des Luftverkehrs herangehen.

Akustisches STCA

Um 21:35:00 Uhr gaben die MV9800-Rechner ein akustisches STCA aus, das nicht im Kontrollraum wahrgenommen wurde. Die akustische Warnung wurde 32 Sekunden vor dem Zusammenstoß generiert; zu diesem Zeitpunkt hatten beide Flugzeuge einen Abstand von 6,5 NM zueinander.

Da der Lotse bereits reagiert hatte, um den Konflikt zu lösen, hätte der Alarm lediglich die Dringlichkeit der Situation betont.

Auch mit der akustischen Warnung hätte der Lotse erst mit zusätzlichen Informationen erkennen können, dass die Situation sich nicht wie erwartet entwickelte. Die TU154M führte die Sinkfluganweisung bereits aus und der Lotse wusste nicht, dass die B757-200 einen Sinkflug aufgrund einer RA eingeleitet hatte. Er hätte erst mit der Datenerneuerung auf dem Monitor um 21:35:12 Uhr erkennen können, dass sich die B757-200 im Sinkflug befand, oder wenn er die Meldung „TCAS descent“ der Besatzung einige Sekunden später wahrgenommen hätte.

Zu diesem Zeitpunkt war es unwahrscheinlich, dass der Lotse noch eine eindeutige Anweisung formulieren konnte, die den Zusammenstoß mit hinreichender Sicherheit hätte verhindern können.

Das akustische STCA meldet den Konflikt beim Unterschreiten des Grenzwertes (6,5 NM) nur einmal mit der Warnung: „conflict, conflict“. Wenn diese Warnung nicht wahrgenommen wird, erfolgt keine nochmalige Warnung, die das Kontrollpersonal auf den weiterhin bestehenden Konflikt aufmerksam macht. Vom Lotsen wird keine Handlung gefordert, das akustische STCA zu bestätigen.

Im Fall einer Staffelungsunterschreitung mit hohen Annäherungsgeschwindigkeiten bietet das akustische STCA nur einen geringen Nutzen.

Unterstützungspersonal

Ein SYMA und ein Lotse/Technischer Experte waren eingeteilt um das technische Team bei den Sektorisierungsarbeiten zu unterstützen. Jede dieser Personen hätte den Lotsen bei der Bewältigung seiner Probleme mit den Bedingungen, unter denen er arbeiten musste, unterstützen können. Beide Personen waren ausreichend qualifiziert um zu erkennen, dass das Fehlen von Systemfunktionen die Arbeit des Kontrollpersonals beeinträchtigen kann. Da die technischen Arbeiten jedoch langfristig geplant waren, nahmen sie an, dafür nicht zuständig zu sein und sahen dafür auch keine Notwendigkeit.

Ein Systemexperte war eingeteilt, um das Kontrollpersonal während der technischen Arbeiten zu unterstützen. Er war bereit, auf Anfrage des Lotsen für diesen tätig zu werden. Da der Lotse aber nicht über diese Unterstützungsperson informiert worden war und den Systemexperten als einen von vielen Technikern betrachtete, nahm er dessen Hilfe auch dann nicht in Anspruch, als er von dem Problem mit der Telefonanlage überrascht wurde. Als der Systemexperte von sich aus unterstützend eingreifen wollte, hatte der Lotse bereits einen anderen Lösungsweg gewählt, so dass seine Hilfe ihm nicht mehr notwendig erschien. Da der Systemexperte weder Fluglotse noch in dem operativen Arbeitsumfeld tätig war, vermochte er die vorhandenen Arbeitsbedingungen des Lotsen nicht unter operativen Gesichtspunkten zu beurteilen.

Alle drei Mitarbeiter betrachteten die Situation des Lotsen nicht unter dem Aspekt der für seine Tätigkeit erforderlichen sicheren und fehlertoleranten Arbeitsbedingungen. Für eine solche Betrachtungsweise waren sie nicht durch eine strukturierte Ausbildung z.B. im Fach „Menschliches Leistungsvermögen“ oder durch eine „TRM-Schulung“ sensibilisiert worden. Sie beachteten die Situation des Lotsen nicht bzw. konnten die auftretenden, zunehmend fehleranfälligen Arbeitsbedingungen nicht als solche wahrnehmen. Daher sahen sie auch keine Notwendigkeit, den Lotsen zur Minimierung seines situationsbedingt erhöhten Arbeitsfehlerrisikos zu unterstützen.

Anmerkung:

Sowohl bei der ICAO wie auch bei Eurocontrol wird zur Zeit darüber diskutiert, die für Fluglotsen bestehenden Vorgaben zur Vermittlung von Kenntnissen über das menschliche Leistungsvermögen und den entsprechenden Fertigkeiten im Rahmen von „Team Resource Management“- Trainingsprogrammen auf eine Einbindung des mit ihnen zusammenarbeitenden Personals auszuweiten. Konkrete Programme dafür existieren noch nicht.

2.6.1.5 Organisatorische Faktoren und Sicherheit im Unternehmen

Organisatorische Faktoren bestimmen, wie Systeme gestaltet, konstruiert, betrieben, instandgehalten, verwaltet und reguliert werden. Sie bestimmen die Arbeitsumgebung der Menschen im System sowie die Art und das Wirksamwerden seiner Schutzmechanismen.

Bei Flugunfällen können organisatorische Faktoren eine entscheidende Rolle spielen.

Die folgenden Abschnitte behandeln die wichtigsten organisatorischen und führungsbezogenen Faktoren innerhalb des Flugsicherungsunternehmens. Wenn notwendig, wird auch auf andere Institutionen eingegangen, die Einfluss auf das Flugsicherungsunternehmen hatten.

Sicherheitsüberprüfungen

Das Unternehmen befand sich in einem Prozess, die bei verschiedenen Qualitätsüberprüfungen (Audits) festgestellten Schwächen und Mängel zu beheben. Man war sich bewusst, dass Personalengpässe für den sicheren und effizienten Betrieb des Systems eine Belastung darstellten. Das Problem, Personal anzuwerben bzw. zu halten, war eine der größten Herausforderungen des Unternehmens. Es hatte sowohl Einfluss auf die Instandhaltung und beabsichtigten Verbesserungen von Systemen als auch auf die erforderliche Personalausstattung und die Aufrechterhaltung des erforderlichen Ausbildungsniveaus.

Das letzte unabhängige Audit im Dezember 2000 hatte keine sicherheitskritischen Punkte aufgrund der Nichterfüllung von Vorschriften oder Anweisungen ergeben. Es wurde festgestellt, dass die meisten Probleme, die sich bei dem vorhergehenden „Audit“ ergeben hatten, gelöst worden waren.

Sicherheitskultur und Sicherheitsmanagement

Sicherheitskultur in der Luftfahrt bezieht sich auf den persönlichen Einsatz und das Verantwortungsgefühl von Einzelpersonen, deren Tätigkeiten sich in irgendeiner Weise auf die Sicherheit in der Luftfahrt auswirkt. Ein allgegenwärtiges Sicherheitsdenken führt zu der Einstellung, Dinge regelmäßig zu hinterfragen, sich gegen Selbstzufriedenheit zu wehren, nach Qualität zu streben und sowohl ein persönliches Verantwortungsbewusstsein zu entwickeln als auch eine betriebliche Selbstregulierung in Sicherheitsfragen anzustreben (übersetzt aus ICAO „Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual“, Doc 9806 AN/763, 2002).

Sicherheitskultur ist sowohl eine Frage der persönlichen Einstellung Einzelner als auch der Struktur von Organisationen. Sie betrifft die Forderung, dass die sicherheitsrelevanten Punkte nicht nur erkannt, sondern auch mit den entsprechenden Maßnahmen verbunden werden müssen: Das gemeinsame Ziel sowohl des Einzelnen als auch der Organisation ist Sicherheit.

Die Einstellung des Einzelnen zu Fragen der Sicherheit wird durch das von der Organisation vorgelebte Streben nach Sicherheit beeinflusst. Nach Identifizierung dessen, was eine sicherheitsorientierte Firmenkultur und deren Charakteristiken sind, kann das Management die bestehende Kultur verändern und verbessern, indem es Sicherheit - für alle Mitarbeiter erkennbar - eine hohe Priorität einräumt. Rückmeldungen und die kontinuierliche Bestärkung des Sicherheitsbewusstseins, von der obersten Führungsebene bis in die unteren Bereiche, helfen bei der Entwicklung des erwünschten Engagements und Verantwortungsgefühls.

Ein Sicherheitsmanagementsystem mit den dazugehörigen Teilsystemen ist ein potenziell wirksames Mittel, das eine Organisation einsetzen kann, um die Sicherheitskultur zu beeinflussen und die festgelegte Priorität der Sicherheit aufrechtzuerhalten.

Eine nachhaltige Änderung im Verhalten des Einzelnen aufgrund von Veränderungen der persönlichen Einstellung benötigen selbst mit einem gut strukturierten und fundierten Sicherheitssystem eine entsprechende Zeit.

Sicherheitsgrundsätze im Unternehmen

Grundsätze der Sicherheitskultur innerhalb des Flugsicherungsunternehmens waren mit Datum vom 23. Oktober 2001 eingeführt worden und sind auszugsweise im Kapitel 1.18.1 aufgeführt. Sie waren mit den von der ICAO, Eurocontrol und dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) herausgegebenen Forderungen im Einklang und enthielten bereits zukünftige, noch nicht vorgeschriebene Forderungen.

Das Unternehmen war auf dem Weg, auf der Basis der Sicherheitsgrundsätze eine Firmenkultur zu verwirklichen, in der die Führungskräfte und die Mitarbeiter sich ihrer kritischen Bedeutung für einen sicheren Betriebsablauf bewusst sind.

Es ließen sich jedoch noch einige Problembereiche erkennen:

Kompetenzzentrum (Center of Competence - CoC)

Als das Flugsicherungsunternehmen in seiner neuen Form entstand, wurde erkannt, dass das informelle Sicherheitsmanagement-Konzept der vorausgegangenen Organisation die strukturellen Anforderungen, die sich innerhalb der Luftfahrt entwickelten, nicht erfüllen würde.

Aus diesem Grund wurde ein Kompetenzzentrum eingerichtet, um durch den Aufbau der entsprechenden Strukturen und Zuständigkeiten den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. Innerhalb des CoC war eine Struktur für ein Sicherheitsmanagement eingeführt worden. Sie bestand aus den Aufgabenbereichen Sicherheit, Qualität, Audits und Risikomanagement, denen spezifische Zuständigkeiten zugeordnet waren. Die Aufgaben der Auditierung und der Qualitätssicherung wurden als bereits etablierte Elemente in das CoC eingebracht. Es verfügte über und hatte Zugriff auf erfahrenes Auditierungspersonal. Es hatte einen Überblick über die Entwicklung der durch den Auditierungsprozess festgestellten Probleme und der Maßnahmen des Unternehmens zu deren Behebung.

Sicherheits- und Risikomanagementsysteme sind für die Entwicklung einer gelebten Sicherheitskultur erforderlich. Sie waren nicht vorhanden und mussten, ebenso wie ihr fachlicher Hintergrund, entwickelt werden. Das Flugsicherungsunternehmen hatte sich entschieden, die Systeme selbst zu entwickeln und nicht auf entsprechendes Fachwissen von außerhalb zurückzugreifen. Dadurch verzögerte sich die Einführung für den Zeitraum der Entwicklung der Systeme.

Aus den Sicherheitsgrundsätzen (siehe 1.18.1) geht klar hervor, dass das CoC in die geplante Änderung der Struktur des oberen Luftraums einzubeziehen war, was aber nicht geschah. Ohne Kenntnis von den geplanten Sektorisierungsarbeiten konnte der Risikomanager weder eine quantitative Risikobewertung durchführen noch einen Prozess zur Risikoreduzierung ausarbeiten.

Personalsituation:

Im Rahmen von Audits war festgestellt worden, dass Personalknappheit in bestimmten Bereichen entweder eine Mehrbelastung für das verbleibende Personal bedeuten würde, oder dass der Umfang der angebotenen Dienste reduziert werden müsste.

Die Neueinstellung von Personal fiel oftmals geringer als gefordert aus und somit wurde realistisches Planen schwierig. Die Personalknappheit verursachte Probleme bei der Erstellung von Dienstplänen und bei der Durchführung von Auffrischungsschulungen.

Sie hatte einen negativen Einfluss auf das Arbeitsklima und wurde von den Lotsen als mangelnde Unterstützung ihrer Arbeit durch die Unternehmensleitung aufgefasst.

Anmerkung:

Nach einer Veröffentlichung von Eurocontrol lag der Mangel an Flugverkehrslotsen europaweit bei etwa 12%.

Internes Berichtswesen:

Das Berichtssystem für die Meldung sicherheitsrelevanter Vorkommnisse („Operational Internal Reporting“) litt darunter, dass es von einem Teil der Lotsen nicht akzeptiert wurde. Es wurde befürchtet, dass es für Sanktionsmaßnahmen genutzt werden könnte. Damit konnte es seine Aufgabe als „vertrauliches Meldesystem“ zur Identifizierung von Fehlerquellen nicht erfüllen.

Lotsenaus- und weiterbildung

Bei der Untersuchung des Unfalles ergaben sich in diesem Bereich folgende Defizite:

- Viele Lotsen im ACC Zürich waren nur unzureichend über die Konsequenzen des Betriebes des Radarsystems im Fallback-Modus informiert. Der Betrieb in diesem Modus wurde weder regelmäßig geschult noch war entsprechendes Anleitungsmaterial erarbeitet worden.

Der operative Betrieb im Fallback-Modus ist nicht problematisch oder unsicher, wenn den Lotsen bekannt ist, inwieweit die Schutzmechanismen des Systems betroffen sind.

- Von den Lotsen des Nachtdienstes wurde zwar erwartet, dass sie einige Aufgaben des DL übernahmen, sie wurden jedoch für die Wahrnehmung dieser Aufgaben nicht geschult.
- Auffrischungsschulungen für Lotsen waren alle sechs Monate vorgesehen. Aufgrund der angespannten Personalsituation wurden sie nur einmal jährlich durchgeführt.
- Eine umfassendes Training für Notverfahren und Verfahren für außergewöhnliche Situationen in einer dafür geeigneten Simulationseinrichtung, war noch nicht Bestandteil dieser Schulungen.
- Das Unternehmen hatte den Lotsen kein spezifisches und angemessen detailliertes Material für die Handhabung von Not- und außergewöhnlichen Situationen zur Verfügung gestellt.

Anmerkung:

Für die Ausbildung neu auszubildender Lotsen hatte Eurocontrol Richtlinien für „Gemeinsame Kern-Inhalte“ (“Common Core Content”) erarbeitet.

Dieses Schulungsprogramm soll den Lotsen Kenntnisse vermitteln über:

- *die menschlichen Stärken und Schwächen*
- *die Auswirkungen von fehlerträchtigen Bedingungen auf die Durchführung eines sicheren Kontrolldienstes*
- *das TRM-Konzept und seinen integrativen Nutzen für ein sicheres und effizientes Flugverkehrsmanagement betonen.*

Es war vorgesehen, dass dieses Programm für alle Mitgliedstaaten von Eurocontrol ab November 2003 verbindlich wird.

Einsatz von Personal bei Nacht und „Ein-Mann-Betriebsverfahren (SMOP)“

Für den Nachtdienst gab es keine schriftlichen Regelungen, die über den Rahmen der normalen Dienstpläne (Tourenpläne) hinausgingen.

Das Verfahren, das nur zwei Lotsen für den Kontrolldienst in der Nacht vorsah, hatte sich aus der Personalsituation heraus entwickelt.

Vor dieser Zeit waren drei Lotsen für den Nachtdienst eingeteilt. Somit konnte sichergestellt werden, dass immer zwei Lotsen am Arbeitsplatz verblieben, während der dritte Lotse in der Pause sein konnte. Dass dieser Lotse während der verkehrsarmen Zeit eine längere Ruhepause einlegte, wurde inoffizielle Praxis. Diese wurde beibehalten, als der Nachtdienst von drei auf zwei Lotsen reduziert wurde.

Diese Praxis existierte bereits, als das CoC als Organisationseinheit eingerichtet wurde und die Sicherheitsgrundsätze formuliert wurden.

Beim ACC Zürich gab es ein Verfahren für den Betrieb am Tage mit nur einem Lotsen. Das Verfahren wurde in einer besonderen Betriebsanweisung SMOP (Single Manned Operation Procedure) geregelt (siehe Anlage 9).

Bei der Durchführung des Kontrolldienstes in der Nacht handelt es sich nicht um SMOP.

Im Rahmen dieser Bewertung werden die festgelegten Bedingungen für SMOP lediglich herangezogen, um sie der praktizierten Vorgehensweise während des Nachtbetriebs im ACC Zürich gegenüberzustellen und diese zu bewerten.

In der Betriebsanweisung für SMOP heißt es u.a., dass

- zwei benachbarte Sektoren nicht gleichzeitig nach SMOP kontrolliert werden dürfen.
Während des Nachtdienstes wurden alle Sektoren zusammengefasst und von einem Arbeitsplatz aus betreut. Es gab keine weiteren geöffneten Sektoren.
- der DL verpflichtet ist, sich des Öfteren um die Beobachtung des tatsächlichen Verkehrsaufkommens in den nach SMOP betreuten Sektoren zu kümmern.
Da es während des Nachtdienstes keinen Dienstleiter gab, der einen Überblick über die Situation des Lotsen haben könnte, war diese Forderung nicht zu erfüllen.
- falls notwendig, der Lotse rechtzeitig Unterstützung durch den DL oder einen Lotsen eines anderen Sektors erhalten kann.

Während des Nachtdienstes war das nicht möglich, weil Aufgaben des DL vom Lotsen selbst mit wahrgenommen wurden.

Der Lotse in der Ruhepause kann nicht mit dem Lotsen eines benachbarten Sektors gleichgesetzt werden. Dieser Lotse war nicht im Kontrollraum anwesend und es hätte eine gewisse Zeit gedauert, bis er zur Verfügung gestanden hätte. Dem auf Unterstützung angewiesenen Lotsen hätte es sehr wahrscheinlich eine größere Überwindung gekostet, den Kollegen aus der Pause zu holen, als die Hilfe eines nebenan tätigen Lotsen zu erbitten.

Als Folge zweier Staffellungsunterschreitungen während SMOP beim ACC Zürich war das Verfahren von der BFU der Schweiz und dem BAZL in Frage gestellt worden. Beide Institutionen äußerten Bedenken gegen die Anwendung von SMOP. ACC Zürich rechtfertigte das Verfahren damit, dass es auf europäischer und breiterer internationaler Ebene gängige Praxis sei. Eine objektive Risikoeinschätzung und einen Prozess zur Risikominimierung gab es nicht.

Zum Zeitpunkt des Unfalles waren die unterschiedlichen Auffassungen noch in der Diskussion. Unstrittig war, dass die Anwendung von SMOP als langfristiges Planungswerkzeug nicht geeignet ist.

Durch die tatsächlichen Arbeitsbedingungen des Lotsen in der Unfallnacht ergaben sich folgende Verschlechterungen gegenüber den Bedingungen, die für SMOP galten:

- Das Radarsystem wurde im Fallback-Modus betrieben und das optische STCA stand nicht zur Verfügung.
- Das Telefonsystem funktionierte nicht einwandfrei.
- Die Techniker, die im Kontrollraum arbeiteten, nahmen den Lotsen zusätzlich in Anspruch.
- Die Betreuung zweier Arbeitsplätze mit auf unterschiedlichen Maßstäben eingestellten Monitoren war eine zusätzliche Belastung, die von einem DL, trotz des geringen Verkehrsaufkommens, wahrscheinlich nicht akzeptiert worden wäre.
- Der Lotse konnte keinen Kopfhörer verwenden, da er zwei Arbeitsplätze zu betreuen hatte.

Gegen SMOP waren bereits von der Aufsichtsbehörde Bedenken angemeldet worden. Die allgemeinen Arbeitsbedingungen während des Nachtdienstes und die in der Unfallnacht vorhandenen zusätzlichen Belastungen entsprachen nicht den Voraussetzungen, die für SMOP gegolten hätten.

Verwirklichung der Sicherheitsgrundsätze im Flugsicherungsunternehmen

Die Grundsätze der Sicherheitskultur, die mit Datum vom 23. Oktober 2001 eingeführt worden waren, lassen erkennen, dass eine Sicherheitskultur verwirklicht werden sollte, in der die Führungskräfte und die Mitarbeiter sich ihrer kritischen Bedeutung für einen sicheren Betriebsablauf bewusst sind.

Das Unternehmen befand sich in der Entwicklung zu einer funktionierenden Sicherheitskultur, die allerdings noch nicht in vollem Umfang realisiert werden konnte. Dazu hätte es noch eines längeren Zeitraumes für einen Entwicklungsprozess bedurft, in dem Umdenkungs- und Lernprozesse bei den Mitarbeitern zu einer Verinnerlichung neuer Denkweisen führen.

Auch die organisatorischen Prozesse dorthin waren noch nicht abgeschlossen.

So befanden sich das Sicherheits- und das Risikomanagementsystem als neue Systeme noch im Entwicklungsstadium. Ihre Einführung wurde im Prinzip auf allen Führungsebenen bejaht aber die Bereitstellung ausreichender Ressourcen dafür war nicht erfolgt.

2.6.2 Boeing B757-200

2.6.2.1 Flugbesatzung

Professionalität und Kompetenz

Der PIC war ein Pilot mit fundiertem Können und Wissen und ein erfahrener Linien-Trainingskapitän mit hohen Standards und höflichem und professionellem Auftreten.

Der Copilot war ein ehemaliger Linien-Trainingskapitän auf dem SA-227-Metroliner und galt als Pilot mit fundiertem Können und Wissen. Aus den Aufzeichnungen des Unternehmens geht hervor, dass er bei seiner Anfangsschulung als Copilot auf der B757-200 einen guten Leistungsstandard („good standard“) erzielt hatte. Im Unternehmen und bei den Kollegen genossen beide Besatzungsmitglieder ein hohes Ansehen.

Nach den Aufzeichnungen des Unternehmens hatten beide Piloten bei ihren verschiedenen Überprüfungen im Unternehmen einen hohen Leistungsstandard erreicht.

Die Auswertung aller vorliegenden Informationen dieses Fluges bestätigte, dass die Besatzung sich professionell verhalten, effektive CRM-Fertigkeiten gezeigt und den Flugverlauf vorausschauend durchgeführt hatte.

Aufgabenverteilung

Vor dem TCAS-Ereignis hatte die Besatzung die Verfahren des Multi-Crew-Konzeptes (MCC) angewendet.

Jedes Besatzungsmitglied war darauf geschult, bei Ausgabe einer TCAS-TA vorgeschriebene Aufgaben zu übernehmen; der Copilot war jedoch nicht an seinem Platz, und das hatte einen Einfluss auf die Zusammenarbeit der Besatzung. Es ist grundsätzlich akzeptabel, dass ein Besatzungsmitglied während der Reiseflugphase seinen zugewiesenen Arbeitsplatz kurzzeitig verlässt; jedoch hatte die Abwesenheit des Copiloten zu dem Zeitpunkt der TA einen wichtigen Einfluss auf die normale Crew-Koordination in dieser unvorhergesehenen und sich schnell entwickelnden Situation.

Die unvermittelte Wiederaufnahme seiner Verpflichtungen im Cockpit zeigt, dass er die Implikationen einer TCAS-TA/RA kannte und er sich seiner Verantwortung bewusst war.

Nach Ausgabe der TA war es die Aufgabe des PF, eine visuelle Suche zu beginnen; es ist jedoch aus der Aufzeichnung des CVR nicht feststellbar, ob er diese Suche begonnen hat oder nicht. Nachdem die RA ausgegeben worden war, bestand die Hauptaufgabe des PF darin, das Flugzeug entsprechend der Vorgabe auf dem VSI/TRA zu steuern, was er auch unverzüglich tat.

Der Copilot begab sich nach der TA unverzüglich wieder an seinen Platz und führte bereits währenddessen eine visuelle Suche nach dem Konfliktverkehr durch. Dieses wird durch seine Feststellung: „traffic right there“ belegt, bei der von einem optischen Sichtkontakt ausgegangen wird. Der Copilot übernahm auch die Standardaufgaben des PNF, nämlich die Überwachung und Unterstützung des PF, was sich darin zeigte, dass bei Ausgabe der RA „increase descent“ der Copilot das Kommando mit dem Wort „increase“ bestärkte. Zu diesem Zeitpunkt saß er mit aufgesetztem Kopfhörer wieder an seinem Arbeitsplatz, hatte allerdings die entscheidenden Funksprüche bezüglich der TU154M nicht mitgehört.

Sowohl der PF als auch der PNF begannen zeitgleich um 21:35:19 Uhr einen Funkspruch an ACC Zürich, der dann vom PNF beendet wurde, um den „TCAS descent“ zu melden. Nach der Verfahrensanweisung des Luftfahrtunternehmens ist diese Meldung so bald wie durchführbar („as soon as practicable“) abzusetzen, und die Tatsache, dass die Meldung von beiden Piloten begonnen wurde, zeigt, dass den Piloten die Wichtigkeit dieser Meldung bewusst war.

Es wurde festgestellt, dass beide Piloten das Rufzeichen: „Dilmun Six Hundred“ benutzten, obwohl ihr Rufzeichen auf dieser Strecke „Dilmun Six One One“ war. Dieses ist dadurch zu erklären, dass das verwendete Rufzeichen der regelmäßig beflogenen Strecke Brüssel – Bahrain entsprach und phonetisch einfacher zu sprechen war. Unter dem Stress und der Dringlichkeit der Situation benutzten beide Besatzungsmitglieder das einfachere und genauso vertraute Rufzeichen.

Obwohl die Meldung: „TCAS-descent“ erst 23 Sekunden nach Beginn der ersten RA abgesetzt wurde und 7 Sekunden oder mehr, nachdem der Copilot den Kopfhörer wieder aufgesetzt hatte, war sie zum frühestmöglichen Zeitpunkt erfolgt. Unmittelbar nach der RA war der PIC in einer Person der PF und PNF und hatte sich auf das manuelle Steuern des Flugzeuges für die Durchführung der RA zu konzentrieren, so dass zu diesem Zeitpunkt das Absetzen der Meldung „TCAS descent“ nicht die höchste Priorität hatte. Wenige Sekunden nach der RA war die Frequenz durch den Sprechfunkverkehr zwischen ACC Zürich und der TU154M blockiert. Die Besatzung der B757-200 setzte ihre Meldung: „TCAS descent“ ab, nachdem die Frequenz wieder frei war.

Bei Sichtkontakt mit dem Konfliktverkehr ist es Aufgabe des PF ein Ausweichmanöver durchzuführen. Jedoch ist es bei Nacht nahezu unmöglich, die Annäherungsgeschwindigkeit und die relative Höhe des anderen Luftfahrzeuges zu beurteilen. Noch 5 Sekunden vor dem Zusammenstoß rief der PNF: „descend!“ und „descend hard!“, unterbrochen durch einen Fluch. Der Ton war der einer dringlichen Anweisung angesichts der erkannten unmittelbaren und extremen Kollisionsgefahr. Die Steuersäule wurde kurz vor dem Zusammenstoß voll gedrückt, jedoch war

das Ausweichmanöver aufgrund der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht mehr erfolgreich.

Die Auswertung der Maßnahmen und der wenigen Kommentare der Besatzung zeigt, dass diese sich ihrer Aufgaben während des TCAS-Ereignisses bewusst war.

Autoritätsgefälle im Cockpit

Auf der Basis der Auswertung des CVR kann folgendes gesagt werden:

Die Besatzung arbeitete gut zusammen und war vertraut mit den Verhaltensweisen und der Position des jeweils anderen innerhalb des Teams. Das entspannte Verhältnis im Cockpit und die gute zwischenmenschliche Beziehung zwischen den beiden erlaubten jedem Piloten einen Handlungsspielraum für die eigenen Arbeiten, ohne den anderen jedes Mal vorher informieren zu müssen. Obwohl der Kommandant seine Autorität nicht offensichtlich zeigte, wurde sie nicht in Zweifel gezogen. Sein Verhalten ermutigte den Copiloten zur Beteiligung und ermöglichte es ihm, sein Können und sein professionelles Urteilsvermögen einzubringen. Während des gesamten Fluges variierte das Autoritätsgefälle im Cockpit in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation geringfügig und wirkte sich positiv auf die Teamarbeit aus.

Situationsbewusstsein („situation awareness“)

Während der Steigflugphase bewies die Besatzung durch verschiedene Bemerkungen und ihre vorausschauende Art ihr Situationsbewusstsein. Nach dem Beginn der Reiseflugphase setzte sie die Ausführung verschiedener für den Flug vorgeschriebener Aufgaben fort, z.B. Einholen des Wetters von verschiedenen Ausweichflugplätzen, Vervollständigung von Eintragungen in das Bord- und persönliche Flugbuch. Es gab keinerlei Hinweise auf ein Nachlassen ihres Situationsbewusstseins.

Während des konstanten Reisefluges in einem automatisierten Flugzeug wie der B757-200 besteht für die Besatzung die Gefahr, sich im Cockpit isoliert zu fühlen, insbesondere während der Nacht. Die Sicherheit gebende Stimulation durch den Sprechfunkverkehr mit der Flugsicherung stellt eine Verbindung zur Außenwelt dar und kann im Bewusstsein des Piloten auch während der ruhigen Zeiten eines Fluges eine Schlüsselposition einnehmen. Jedoch rief die erste Anrufsequenz der TU154M bei keinem der beiden B757-200 Piloten eine Reaktion hervor, obwohl sie die Information enthielt, dass sich das meldende Luftfahrzeug auf derselben Flugfläche befand.

Das ist nachvollziehbar, da es keine weitere Information gab, die einen Hinweis auf einen potentiellen Konflikt hätte geben können.

Der Flug wurde unter Radarüberwachung und in einer Umgebung durchgeführt, in der dem Konzept „Sehen und Ausweichen“ ernsthafte Grenzen gesetzt sind. Obwohl es nach den Luftverkehrsregeln eine allgemeine Forderung an den Piloten gibt, den Luftraum zu beobachten, kann die Luftraumbeobachtung unter diesen Umständen nicht als wichtiges Mittel für die Aufrechterhaltung eines Situationsbewusstseins betrachtet werden.

Nach der TA war nur der PIC in der Lage, die Anweisung von ACC Zürich an die TU154M zu hören. Da die RA „descend“ während der letzten Sekunde der Anweisung generiert wurde, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich der PIC unverzüglich auf das Befolgen der RA konzentrierte. Das Befolgen der RA war die Hauptaufgabe und erforderte mit der Einleitung des Sinkfluges die volle Aufmerksamkeit des PIC.

Die Bedeutung der Anweisung von ACC Zürich an die TU154M wurde von ihm vermutlich nicht so wahrgenommen, dass er sich ein genaues mentales Bild der sich anbahnenden Situation machen konnte.

Um 21:34:42 Uhr wurde der Copilot durch die akustische Warnung der TA auf die sich anbahnende Situation aufmerksam. Er kehrte sofort in den Bereich der Pilotensitze zurück und machte um 21:35:05 Uhr die Bemerkung: „traffic right there.“ Dies zeigt, dass er seine Aufgaben teilweise wieder übernommen hatte, obwohl er noch nicht wieder saß. Kritisch war hierbei, dass er den von ACC Zürich an die TU154M gerichteten Funkverkehr nicht gehört hatte. Dadurch fehlten ihm wichtige Informationen, die er benötigt hätte, um sich ein vollständiges mentales Bild von der Situation machen zu können.

Vor Beginn des TCAS-Ereignisses hatte die Besatzung die Möglichkeiten der automatischen Systeme des Flugzeugs eingesetzt und die verschiedenen verfügbaren Ressourcen genutzt, um ihr Situationsbewusstsein aufrechtzuerhalten. Nichts deutete darauf hin, dass sie den auto-

matischen Flugsystemen unangemessen vertraute oder in eine unangebrachte Selbstzufriedenheit (Complacency) gefallen war.

Es ließen sich keine Anzeichen entdecken, dass die Besatzung infolge der langen Dienstzeit an diesem Tag in ihrem Leistungsvermögen beeinträchtigt war.

Die Besatzung hatte ihre Bereitschaft gezeigt, den Verlauf des Fluges optimal zu gestalten, aber als sich das TCAS-Ereignis entwickelte und der Stress zunahm, konnte sie nur noch auf die unmittelbaren Anforderungen reagieren, die die Situation an sie stellte. Die fehlende Zeit und die Umstände hinderte sie daran, sich gemeinsam ein vollständiges Bild der Situation zu machen und die weitere Entwicklung abzuschätzen. Von diesem Zeitpunkt ab konnte sie nicht mehr vorausschauend handeln.

Entscheidungsfindung

Eine umfassende Bewertung der Reaktion der Crew der B757-200 auf das TCAS-Ereignis wird im Kapitel 2.2.1 vorgenommen.

Die BFU ist zu der Auffassung gelangt, dass sie auf die Situation richtig reagiert und die vorgegebenen Verfahren so abgearbeitet hat, wie es ihr in Anbetracht der besonderen Umstände möglich war.

2.6.2.2 Schutzmechanismen

ACAS/TCAS

Als ein unabhängiges, in ein Luftfahrzeug eingebautes Kollisionswarngerät ist das TCAS als ein „System der letzten Möglichkeit“ gedacht, Flugbesatzungen bei der Vermeidung von Zusammenstößen in der Luft zu unterstützen. Das VSI/TRA der B757-200, das für die Anzeige von TCAS-Informationen verwendet wurde, hatte eine maximale Darstellungsreichweite von 16 NM und befand sich im Blickfeld der Piloten.

TCAS ist ein Bordsystem, das beim Betrieb eines Flugzeuges unter normalen Bedingungen nur im „Hintergrund“ arbeitet und erst bei einer drohenden Kollision zum Tragen kommt.

Erst mit Generierung einer TA wird die Schnittstelle „TCAS – Flugbesatzung“ aktiviert. TCAS liefert in dieser Phase einen Beitrag zum Situationsbewusstsein der Flugbesatzung. Ein aktiver Eingriff in die Steuerung des Flugzeug ist in dieser Phase nicht vorgesehen.

Nach Generierung einer RA muss die Flugbesatzung aktiv in die Steuerung des Flugzeuges eingreifen. Dabei gilt:

- Auch unter Berücksichtigung der Letztverantwortung des Piloten muss die TCAS-RA befolgt werden. Die Flugbesatzung hat in dieser Situation keine bessere Entscheidungsgrundlage.
- Abweichungen von Anweisungen der Flugsicherung müssen der Flugsicherungskontrollstelle schnellstmöglich gemeldet werden.

Visuelle Erfassung anderer Luftfahrzeuge

Über die physiologischen Grenzen des menschlichen Sehvermögens im umgebenden Luftraum und insbesondere im Kontext von „Sehen und Ausweichen“ gibt es hinreichend Literatur, die sich mit den Schwierigkeiten der visuellen Erfassung anderer Luftfahrzeuge befasst. Dieses Ereignis zeigt die menschlichen Schwachpunkte insofern noch deutlicher, da selbst bei visuellem Kontakt zum anderen Flugzeug keine der Besatzungen die wahrgenommene Information nutzen konnte, um das hohe Zusammenstoßrisiko rechtzeitig zu erkennen und ein erfolgreiches Ausweichmanöver durchzuführen.

Nach der Wahrnehmung eines anderen Luftfahrzeugs beginnt ein Bewertungsprozess, in dem die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes eingeschätzt und die Notwendigkeit eines Ausweichmanövers festgestellt wird. Für den ersten Schritt dieser Bewertung ist es erforderlich, dass die relative Position und die relative Bewegung in allen Dimensionen festgestellt und dann die Änderungsrate ermittelt wird. Bei Nacht und in großen Höhen ist der Mensch für diese Aufgabe äußerst ungeeignet.

In großen Höhen und insbesondere bei Nacht ist nahezu unmöglich, die relative Höhe visuell mit Bestimmtheit einzuschätzen, allerdings gibt die Veränderung der relativen vertikalen Peilung einen Hinweis auf oberhalb oder unterhalb der eigenen Flughöhe kreuzenden potenziellen Kon-

fliktverkehr. Eine fehlende vertikale Veränderung zeigt an, dass die Höhe des kreuzenden Verkehrs der eigenen Höhe zum Zeitpunkt des Kreuzens entspricht; es kann zunächst jedoch nicht festgestellt werden, ob sich das andere Luftfahrzeug über oder unter dem eigenen befindet. Bei hohen Annäherungsgeschwindigkeiten kann es bis einige Sekunden vor dem Punkt der stärksten Annäherung unmöglich sein, die relative Höhe des Konfliktverkehrs mit Bestimmtheit festzustellen.

Eine Veränderung in der relativen (horizontalen) Peilung ist ein Hinweis darauf, dass das Luftfahrzeug vor oder hinter dem eigenen Luftfahrzeug vorbeifliegt, jedoch bleibt es unter den meisten Umgebungsbedingungen immer noch äußerst schwierig, den Kurs des Konfliktverkehrs festzustellen. In einer Situation mit potenzieller Kollisionsgefahr verändert sich die Peilung nicht.

Die dritte Dimension ist der Abstand zwischen den Luftfahrzeugen und wird auf der Grundlage der scheinbaren Größe des Objektes bewertet. Das Verhältnis zwischen dem Abstand und der Größe ist jedoch nicht linear: Die Größe nimmt mit kleiner werdendem Abstand exponentiell zu. Bei Nacht und in großer Höhe ist es nahezu unmöglich, den Abstand zwischen zwei Luftfahrzeugen ohne jegliche optische Referenz nur anhand von Eindrücken zu beurteilen. Daher kann die Annäherungsgeschwindigkeit erst eingeschätzt werden, wenn sich das Objekt in einer Reichweite befindet, in der eine Größenveränderung wahrnehmbar wird.

Bei einer geringen Annäherungsgeschwindigkeit kann der Punkt, an dem ein Pilot die Größe eines anderen Luftfahrzeuges wahrnehmen und die Entfernung einschätzen kann, ausreichend Zeit gewähren, den weiteren Flugweg einzuschätzen und vor dem Erreichen des Punktes der stärksten Annäherung auf diese Situation zu reagieren. Bei einer hohen Annäherungsgeschwindigkeit wird jedoch zu dem Zeitpunkt, in dem ein Pilot eine Veränderung der scheinbaren Größe eines anderen Luftfahrzeugs feststellen kann, dieses bereits sehr schnell größer. Und obwohl er die hohe Annäherungsgeschwindigkeit instinktiv erkennt, wird die Zeit auch bei einer sofortigen Steuereingabe möglicherweise nicht mehr ausreichen, das Ausweichmanöver wirkungsvoll einzuleiten.

Die visuelle Wahrnehmung, die durch eine klare Änderung der relativen Peilung, vertikal oder horizontal, entsteht, vermittelt den Eindruck, dass die Gefahr eines Zusammenstoßes kleiner wird oder nicht vorhanden ist. Dieser Eindruck ist umso stärker, je größer die Änderungsrate wird. Dagegen hat jedoch der Pilot, wenn die Änderungsrate der relativen Peilung kleiner wird oder gleich bleibend ist, nicht die Wahrnehmung einer erhöhten Zusammenstoßgefahr. In dieser Situation hat er nur bei deutlich abnehmender Entfernung und zunehmender Größe des Objektes eine alarmierende visuelle Wahrnehmung.

Beide Flugzeuge flogen mit einer fast konstanten relativen Höhe und horizontalen Peilung und einer Annäherungsgeschwindigkeit von etwa 710 kt (etwa 365 m/s) aufeinander zu. Aufgrund dieser Annäherungsgeschwindigkeit konnten beide Besatzungen erst einige Sekunden vor der Kollision den geringen Abstand zueinander bzw. ihre relative Geschwindigkeit erkennen. Die verbleibende Zeit reichte nicht mehr aus, eine durchdachte Handlungsentscheidung zu treffen und eine ausreichende Veränderung der Flugrichtung des Luftfahrzeugs herbeizuführen.

Anmerkung:

Eine Betrachtung der Probleme der visuellen Erfassung findet im Kapitel 2.2.3 statt.

2.6.2.3 Organisation

Standard-Betriebsverfahren (SOPs)

Die Standard-Betriebsverfahren für den Betrieb der B757-200 entsprachen den Richtlinien des Herstellers und erfüllten die Forderungen der zuständigen Aufsichtsbehörden. Die Verwendung der TCAS-Ausrüstung wird in den Verfahrensanweisungen behandelt, die Reaktionen auf Systemanzeigen sind in den Betriebsverfahren des Unternehmens detailliert aufgeführt und wurden in den durchgeführten Schulungen behandelt.

Die Richtlinien für die Besatzungen hinsichtlich ihrer Reaktionen auf „TCAS-Advisories“ waren in sich zwar ohne offensichtliche Widersprüche, jedoch ergaben genauere Betrachtungen im Rahmen dieser Unfalluntersuchung, dass es einigen Spielraum für Fehlinterpretationen gab.

Ausbildung der Flugbesatzung

TCAS-Betrieb

Als Basisdokument für die Bewertung des Einflusses der TCAS-Ausbildung in Bezug auf den Aspekt Menschliche Faktoren, soweit er das Verhalten der Besatzung bei diesem Unfall betrifft, wurde der Anhang E zu dem ICAO State Letter AN 11/19-02/82, 'Proposed Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Performance-based Training Objectives' verwendet. Das Unternehmen hatte das 'FAA Advisory Circular AC No:120-55B' vom 22.10.01 als Grundlage für seine TCAS-Ausbildung benutzt. Im Sinne dieser Untersuchung werden die beiden Dokumente inhaltsmäßig als übereinstimmend betrachtet.

Die Zivillufffahrtbehörde von Bahrain (Bahrain Civil Aviation Affairs – BCAA) hatte das TCAS-Schulungsprogramm des Flugbetriebs genehmigt, das die Zielsetzung des FAA AC No 120-55B berücksichtigte. Beide Piloten der B757-200 hatten den TCAS-Lehrgang, der einen halben Tag Unterricht und ein TCAS-Ausbildungsvideo umfasste, erfolgreich abgeschlossen.

Die praktische TCAS-Schulung der Piloten fand im Simulator statt und war in der Musterberechtigung sowie im Rahmen des Auffrischungstrainings integriert und konnte auch im Streckenflug-Übungsprogramm (LOFT) enthalten sein.

Die TCAS-Schulung des Unternehmens betonte die Priorität des Systems als ein letzte Schutz-einrichtung, das nur unberücksichtigt bleiben darf, wenn der potenzielle Konfliktverkehr sicher identifiziert und absolut klar ist, dass eine Abweichung vom gegenwärtigen Flugweg nicht notwendig ist. Es wurde auch vor Manövern gewarnt, die einer RA entgegengesetzt sind.

Crew Resource Management (CRM) im Cockpit

ICAO Human Factors Digest No. 2 – ‚Flight Crew Training: Cockpit Ressource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT)‘ enthält Richtlinien zu den Grundlagen von CRM und der bevorzugten Ausbildungsmethode – LOFT. Die Zivillufffahrtbehörde von Bahrain hat dem Unternehmen die Berechtigung für die CRM-Schulung erteilt und das CRM-Programm des Unternehmens genehmigt. Einige Monate vor dem Unfall hat das Unternehmen ein neues CRM-Schulungsprogramm in sein Betriebshandbuch (OM) Teil D (Ausbildung) aufgenommen, und dieses Programm enthielt die Richtlinien und Ziele des ICAO HF Digest No. 2.

Das Schulungsprogramm trägt der Effektivität spezifischer Techniken während der verschiedenen CRM-Ausbildungsphasen Rechnung. Es beginnt mit der Entwicklung des Bewusstseins für die Relevanz der Inhalte und geht zur praktischen Erfahrung und zum Feedback über und betont die Bedeutsamkeit der Vertiefung der erworbenen Fertigkeiten. Das CRM-Training ist international als ein sich ständig weiter entwickelnder Prozess anerkannt.

Das CRM-Konzept ist in alle Ausbildungsbereiche des Flugbetriebes integriert und obwohl nur der Copilot seine CRM-Schulung in dem Unternehmen absolviert hatte, wurden die Fertigkeiten beider Piloten auf diesem Gebiet bewertet. Der PIC war Linien-Trainingskapitän auf der Boeing 757 und wurde in dieser Funktion auch eingesetzt, weil er selbst gute CRM-Fähigkeiten besaß, und er in der Lage war, auch bei anderen Piloten die CRM-Fähigkeiten zu erkennen und weiterzuentwickeln. Der Copilot war in dem Unternehmen als Linien-Trainingskapitän auf dem vorher von ihm geflogenen Muster eingesetzt gewesen und verfügte über dieselben Qualitäten.

Die ICAO betrachtet das Streckenflug-Übungsprogramm (LOFT) als das bevorzugte Mittel zum Üben und für die Rückmeldung in der CRM-Ausbildung, und der wertvolle Beitrag von Simulatoren und von LOFT-Übungen ist in der internationalen Luftfahrt anerkannt. Das LOFT wird für die Entwicklung angemessener Management-Techniken im Cockpit verwendet, die dann verinnerlicht werden müssen, so dass sie nicht nur unter routinemäßigen Flugbetriebsbedingungen, sondern auch in Situationen mit höherer Belastung umgesetzt werden.

Beide Piloten absolvierten regelmäßig LOFT-Übungen und zeigten dabei kontinuierlich gute CRM-Fertigkeiten.

Dokumentation

Es gibt eine Fülle von Unterlagen über TCAS und dessen Gebrauch, jedoch dürften diese Unterlagen der Besatzung nicht in ihrer Gesamtheit bekannt gewesen sein, da die spezifischen, auf ihren Flugbetrieb bezogenen Informationen normalerweise in die Handbücher und das Ausbildungsmaterial des Unternehmens einbezogen sind.

Die Auslegung des TCAS sieht seinen Gebrauch als „letzte Schutzeinrichtung“ vor. Das gibt dem System Vorrang vor den meisten anderen Cockpit-Anzeigen, ausgenommen wie z.B. GPWS, Überziehwarn- und Windscherungswarnsysteme. Das System soll Vorrang haben z.B. vor Flugsicherungsanweisungen und Ausweichregeln. Es kann jedoch zu Missverständnissen führen, wenn das System in Unterlagen als „Backup“ für andere Systeme oder Konzepte bezeichnet wird. Dieses könnte so ausgelegt werden, dass das TCAS nur benutzt wird, wenn andere Elemente des Systems Luftfahrt, die für eine sichere Staffelung sorgen sollen, nicht im Einsatz sind.

Das Betriebshandbuch des Unternehmens (OM) Teil A, Kapitel 8: „Procedures for the use of TCAS“ (8.3.6), und das Ausbildungshandbuch für Boeing 757, Kapitel 5: „Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)“, Abschnitt 5.18 ff, enthalten Richtlinien für den Einsatz von TCAS und Reaktionen auf dessen Anweisungen.

Das Unternehmen benutzte die „FAA Introduction to TCAS II, Version 7“ (November 2000) als Teil der Lehrgangsunterlagen für die TCAS-Ausbildung, die auch an Bord mitgeführt wurden:

- Das OM Teil A führt aus: „...manoeuvres should never be made in a direction opposite to that given by the RA, and that RAs should be disregarded only when the potentially conflicting traffic has been positively identified and it is absolutely clear that no deviation from the current flight path is needed.“
- Das Boeing Flight Crew Training Manual (FCTM) führt aus: „Flight crews should follow RA commands using established procedures unless doing so would jeopardize the safe operation of the airplane or positive visual contact confirms there is a safer course of action.“ It goes on to state: „Manoeuvring opposite to an RA command is not recommended since TCAS may be coordinating with other airplanes.“

In den genannten Referenzdokumenten wird den Besatzungen geraten, einer TCAS-RA zu folgen. Die Befolgung einer RA wird jedoch nicht zwingend vorgeschrieben und die Entscheidung darüber dem PIC überlassen. Jedoch stimmen alle Dokumente dahingehend überein, dass Manöver entgegengesetzt zu einer RA zu vermeiden sind und dass die Befolgung einer RA dringend angeraten wird, es sei denn, Sicherheitsgründe sprechen dagegen.

2.6.3 Tupolew TU154M

2.6.3.1 Flugbesatzung

Professionalität und Kompetenz

Der Kommandant (unter Aufsicht), Copilot, Navigator und Flugingenieur flogen normalerweise als ständige Cockpitbesatzung zusammen und waren erfahrene und kompetente Mitarbeiter, die vom Unternehmen gut beurteilt wurden. Der Instruktor (PIC) war ebenfalls ein erfahrener und kompetenter Flugzeugführer und hatte eine führende Position im Unternehmen inne.

Alle Besatzungsmitglieder waren im Besitz der höchsten fliegerischen Leistungsklasse (siehe Kapitel 1.5.2)

Die Auswertung aller vorliegenden Informationen diese Fluges bestätigte, dass alle Besatzungsmitglieder ihre standardmäßigen Aufgaben kompetent wahrnahmen.

Aufgabenverteilung

Die normale Zusammensetzung der Besatzung war durch den zusätzlich anwesenden Instruktor verändert worden, jedoch hatte die Besatzung sich umorganisiert und arbeitete in Übereinstimmung mit den normalen Verfahren. Der Instruktor war in einer vertrauten Rolle als PIC und PNF, während der Kommandant auf dem linken Sitz weniger vertraut war mit seiner Rolle als PF, ohne gleichzeitig auch verantwortlicher Luftfahrzeugführer zu sein. Die Aufgaben des Navigators und des Flugingenieurs waren unverändert geblieben, während der Copilot keine zugeordneten Aufgaben hatte.

Als sich die Konfliktsituation anbahnte, war der PNF für die Durchführung des Sprechfunkverkehrs zuständig und hatte die Sinkfluganweisung von ACC Zürich zu bestätigen. Davon war er zunächst abgelenkt, da er seine Entscheidung (als PIC), die Sinkfluganweisung zu befolgen, der Cockpitbesatzung erläuterte. Seine Bestätigung der zweiten Sinkfluganweisung erfolgte sofort.

Vom PNF wurde auch erwartet, dass er den PF bei der Durchführung von Flugmanövern, einschließlich des von ACC Zürich angeordneten Sinkfluges, überwachte und unterstützte. Als das TCAS-Ereignis begann, erweiterten sich seine Aufgaben um die Notwendigkeit einer visuellen Suche nach dem Konfliktverkehr.

Wahrscheinlich hatte er den PF noch bei der Einleitung des Sinkfluges überwacht, dann jedoch seine Aufmerksamkeit der visuellen Suche gewidmet. Er wies den PF nicht darauf hin, dass sie sich der freigegebenen Flugfläche FL350 näherten. Zu diesem Zeitpunkt konzentrierte er sich auf die visuelle Suche, die wahrscheinlich im falschen Sektor stattfand.

Um 21:35:12 Uhr hatte der Lotse fälschlicherweise gemeldet, dass sich der Konfliktverkehr in der 2-Uhr-Position der TU154M befände. Dadurch nahmen Verwirrung und Bedrängnis der Besatzung weiter zu. Wahrscheinlich wurde die Besatzung bei der Durchführung ihrer Aufgaben beeinflusst und von der rechtzeitigen visuellen Erfassung der B757-200 in ihrer 10-Uhr-Position abgelenkt.

Neun Sekunden vor dem Zusammenstoß fragte der PIC: „Wo ist es?“, und der Copilot antwortete: „Hier auf der linken Seite.“, was den Schluss zulässt, dass der PIC seine Suche auf den vom Lotsen genannten Sektor konzentriert hatte, während der Copilot den Sichtkontakt zu der B757-200 auf der linken Seite gehalten hatte.

Eine Sekunde vor dem Zusammenstoß - wahrscheinlich als Reaktion auf den Sichtkontakt zu der nun rasch größer werdenden B757-200 - zog der PF die Steuersäule abrupt zurück. Das Ausweichmanöver war aufgrund der Kürze der Zeit nicht mehr erfolgreich.

Autoritätsgefälle im Cockpit

Abgesehen davon, dass der Instruktor zur Crew hinzugekommen war, waren die Flugbesatzungsmitglieder mit den Verhaltensweisen der jeweils anderen und deren Position im Team vertraut. In der normalen Cockpit-Hierarchie wäre der Kommandant der verantwortliche Luftfahrzeugführer (PIC) und der Copilot der nächste in der Hierarchie gewesen, und der Navigator hätte eine ranghöhere Position als der Flugingenieur eingenommen. Für diesen Flug war gemäß NPP (Anweisung zur Flugdurchführung) vorgeschrieben, dass der Instruktor die Position des PIC wahrnimmt. Der Copilot war auf eine unbestimmte und nicht definierte Position verwiesen, da er innerhalb der Besatzung keine zugewiesenen Verantwortlichkeiten hatte.

Wenn ein Team über einen längeren Zeitraum zusammenarbeitet, können einige positive Effekte im Sinne einer Gruppensynergie erreicht werden. Das kann dazu führen, dass Arbeitsanteil und Handlungen des jeweils anderen Team-Mitgliedes genau bekannt sind und dadurch die Leistungsfähigkeit der Besatzung verbessert wird. Jedoch kann die kleinste Veränderung bei der Zusammensetzung des Teams die normalerweise erzielte Gruppensynergie herabsetzen und die Leistungsfähigkeit des Teams überproportional verringern.

Andererseits kann ein neues Teammitglied zusätzliche und ergänzende Fertigkeiten einbringen, die für die Leistungsfähigkeit des Teams von Vorteil sind. Es ließ sich nicht im Detail feststellen, inwieweit die Leistungsfähigkeit der Cockpitbesatzung der TU154M durch die Anwesenheit des Instructors beeinflusst wurde.

Auf der Basis der Auswertung des CVR kann folgendes gesagt werden:

Die Überwachung der routinemäßigen Phasen des Fluges erfolgte auf koordinierte Art und Weise, und die Kommunikation der Besatzung war effizient. Die hierarchische Struktur der Besatzung der TU154M in Verbindung mit der im Cockpit wahrgenommenen Atmosphäre lässt auf einen steilen Autoritätsgradienten schließen.

Als der PIC sich nach der Anweisung von ACC Zürich zum Sinkflug entschied und sich ohne vorherige Beratung mit den anderen Besatzungsmitgliedern zur Befolgung verpflichtete, obwohl inzwischen eine TCAS-RA zum Steigen vorlag, war ein steiles Autoritätsgefälle im Cockpit erkennbar. Die autokratische Art und Weise, wie er die Entscheidung getroffen hat, könnte die Bereitschaft der anderen Besatzungsmitglieder beeinflusst haben, relevante Informationen weiterzugeben oder ihr in dieser Situation empfundenen Unbehagen zu äußern.

Situationsbewusstsein („situation awareness“)

Während der Reiseflugphase behielt die Besatzung einen Überblick über die durchzuführenden Aufgaben unter Verwendung der ihnen zur Verfügung stehenden Systeme. Es gibt keinen Hin-

weis darauf, dass einzelne Besatzungsmitglieder in ihrem physischen Leistungsverhalten beeinträchtigt waren.

Der Flug erfolgte unter Radarkontrolle und in einer Umgebung, in der dem Konzept „Sehen und Ausweichen“ ernsthafte Grenzen gesetzt sind. Obwohl es nach den Luftverkehrsregeln eine allgemeine Verpflichtung für die Piloten gibt, den Luftraum zu beobachten, kann die Luftraumbeobachtung unter diesen Umständen nicht als wichtiges Mittel für die Aufrechterhaltung eines Situationsbewusstseins betrachtet werden.

Die Besatzung hatte bereits zu einem frühen Zeitpunkt das andere Luftfahrzeug auf dem VSI/TRA und vor dem Unfall auch optisch wahrgenommen. So war sie auf einen möglichen Konflikt aufmerksam geworden, der dann durch die Anweisung von ACC Zürich gelöst erschien.

Anmerkung:

Die Benutzung des Anzeigeinstruments für TCAS zur Entwicklung einer eigenen Bewertung der Verkehrssituation und/oder eines Situationsbewusstseins ist nach Auffassung der BFU weder mit der Systemphilosophie von ACAS/TCAS noch mit dem System der Flugsicherung vereinbar. Es existieren auch keine Verfahren um das System dafür zu benutzen.

Entscheidungsfindung

Eine umfassende Bewertung der Reaktion der Crew der TU154M auf das TCAS-Ereignis wird im Kapitel 2.2.2 vorgenommen.

Die weiteren Ausführungen an dieser Stelle beschränken sich auf den Prozess der Entscheidungsfindung der Crew der TU154M im Zusammenhang mit der Anordnung von ACC Zürich und der RA des bordeigenen TCAS.

Um 21:34:42 Uhr generierte TCAS eine TA. Um 21:34:49 Uhr wurde die Sinkfluganweisung von ACC Zürich empfangen und der PIC gab unverzüglich das Kommando „Sinkflug“. Um 21:34:56 Uhr generierte TCAS eine RA „climb“.

Beide Anweisungen widersprachen sich aus der Sicht der Besatzung.

Der zeitliche Verlauf und die Dringlichkeit der widersprüchlichen Anweisungen drängten den PIC zu einer sofortigen und autoritären Entscheidung.

Die Entscheidung des PIC war ein Sinkflug in Übereinstimmung mit der Anweisung von ACC Zürich. Sein Zurücklesen an ACC Zürich um 21:35:07 Uhr „Expedite descent level three five zero“ unterstrich die Endgültigkeit seiner Entscheidung und wurde durch die Maßnahme des PF, der den Sinkflug fortsetzte, bestätigt.

Obwohl als Reaktion auf die Sinkfluganweisung von ACC Zürich und auf das Kommando des PIC ein Sinkflug eingeleitet wurde, wiederholte der Copilot, als das TCAS eine RA „climb“ ausgegeben hatte, diese sofort mit der Feststellung „Es sagt steigen“ („climb говорит“). Als der PIC seiner Besatzung mitteilte „Er führt uns runter“ („Он снижает нас“) hinterfragte der Copilot: „Sinken?“ („Descend?“).

Der Beitrag des Copiloten zur Diskussion über den vom TCAS angezeigten Konfliktverkehr zeigte, dass er das Prinzip des TCAS vermutlich gut verstanden und wahrscheinlich auch eine eindeutige Meinung zugunsten der Befolgung einer RA hatte.

Trotz des möglichen Unbehagens des Copiloten hatte der PIC eine klare Entscheidung getroffen, und diese wurde durch den PF unterstützt, der den Sinkflug weiter durchführte. Als um 21:35:24 Uhr die verstärkte RA: „increase climb“ ausgegeben wurde, unterstrich der Copilot die RA mit den Worten „climb it says“ („climb“ он говорит“).

Danach stellte niemand innerhalb der Crew die Entscheidung mehr in Frage oder versuchte sie erneut anzusprechen. Die Einwände des Copiloten waren nicht bestimmt genug, um Berücksichtigung beim PIC zu finden, und über dessen Autorität bestand für den Copiloten kein Zweifel.

Die Entscheidung des PIC könnte folgende Gründe gehabt haben:

- Der PIC hatte hohe Erwartungen an die Flugsicherung und dürfte wenig geneigt gewesen sein, die Anweisung von ACC Zürich zu hinterfragen, die er als passende Maßnahme zur Lösung des Konfliktes betrachtete
- Er hatte Vorbehalte gegenüber dem TCAS und seiner Berechtigung, auf Grundlage einer RA von einer Anweisung der Flugsicherung abzuweichen.

- Er war mit TCAS und seiner Systemphilosophie nicht ausreichend vertraut, um zu wissen, dass TCAS in der Regel bei dem anderen Flugzeug eine gegenteilige RA auslöst.

Welche der genannten Möglichkeiten exakt zutrifft oder ob alle in Kombination miteinander zutreffen, kann nicht abschließend geklärt werden.

Der Lotse hatte durch seine Wortwahl und den Tonfall, den er benutzte, eine erhebliche Dringlichkeit vermittelt. Der zweimalige Hinweis auf den Konfliktverkehr unterstützte die Notwendigkeit seiner Anweisung.

Betrachtet man die Entscheidung aus der Sicht des PIC, so kann nachvollzogen werden, dass er sie für richtig hielt.

Nach dieser Entscheidung war der Zusammenstoß vom Zufall abhängig.

Die BFU geht davon aus, dass die Crew die Anweisung des Lotsen wegen des Konfliktverkehrs auf FL 350 zu sinken, in erster Linie als Ausweichmanöver zur Verhinderung einer drohenden Kollision auffasste und nicht so sehr als eine Anweisung, eine neue Höhe innerhalb einer geänderten Staffelung einzunehmen.

Auf die Meldung der Crew der B757-200 um 21:35:19 Uhr über einen TCAS „descent“ reagierte keines der Besatzungsmitglieder der TU154M. Entweder wurde die Meldung auf Grund schlechter Verständlichkeit nicht wahrgenommen oder der Stress und die Belastung in dieser Konfliktsituation ließen es nicht zu, die Bedeutung der Meldung zu erfassen.

Der Versuch des PF – eine Sekunde vor dem Zusammenstoß – der nun visuell erkennbaren B757-200 - durch abruptes Einleiten des Steigfluges noch auszuweichen, konnte aus Zeitgründen nicht mehr erfolgreich sein.

2.6.3.2 Schutzmechanismen

ACAS/TCAS

Als ein unabhängiges, in ein Luftfahrzeug eingebautes Kollisionswarngerät ist das TCAS als ein „System der letzten Möglichkeit“ gedacht, Flugbesatzungen bei der Vermeidung von Zusammenstößen in der Luft zu unterstützen. Das VSI/TRA der TU154M, das für die Anzeige von TCAS-Informationen verwendet wurde, hatte eine maximale Darstellungsreichweite von 40 NM und befand sich im Blickfeld der Piloten.

TCAS ist ein Bordsystem, das beim Betrieb eines Flugzeuges unter normalen Bedingungen nur im „Hintergrund“ arbeitet und erst bei einer drohenden Kollision zum Tragen kommt.

Erst mit Generierung einer TA wird die Schnittstelle „TCAS – Flugbesatzung“ aktiviert. TCAS liefert in dieser Phase einen Beitrag zum Situationsbewusstsein der Flugbesatzung. Ein aktiver Eingriff in die Steuerung des Flugzeug ist in dieser Phase nicht vorgesehen.

Nach Generierung einer RA muss die Flugbesatzung aktiv in die Steuerung des Flugzeuges eingreifen. Dabei gilt:

- Auch unter Berücksichtigung der Letztverantwortung des Piloten muss die TCAS-RA befolgt werden. Die Flugbesatzung hat in dieser Situation keine bessere Entscheidungsgrundlage.
- Abweichungen von Anweisungen der Flugsicherung müssen der Flugsicherungskontrolle schnellstmöglich gemeldet werden.

Visuelle Erfassung anderer Luftfahrzeuge

Die Situation bezüglich der visuellen Erfassung des jeweils anderen Luftfahrzeuges gilt in gleicher Weise für die TU154M- wie für die B757-200-Besatzung, mit Ausnahme des Umstandes, dass sich diese für die Besatzung der Tupolew durch die fehlerhafte Positionsangabe des Lotsen verschlechtert hatte.

Anmerkung:

Eine Betrachtung der Probleme bei der visuellen Erfassung findet im Kapitel 2.2.3 statt.

2.6.3.3 Organisation

Standard-Betriebsverfahren (SOPs)

Die Verwendung der TCAS-Ausrüstung wurde in den unternehmensinternen Anweisungen behandelt, die Reaktionen auf Systemanzeigen waren in den Betriebsverfahren des Unternehmens aufgeführt und wurden in den durchgeführten Schulungen behandelt. Es wurde allgemein davon ausgegangen, dass dieses Informationsmaterial den Besatzungen korrekte und eindeutige Richtlinien bezüglich der erwarteten Reaktion auf jegliche Aktivierung des TCAS gab.

Die Reaktion der Besatzung der TU154M auf dem Unfallflug und die genauere Betrachtung im Rahmen dieser Unfalluntersuchung weisen jedoch darauf hin, dass es Raum für Fehlinterpretationen und Unsicherheiten gab.

Ausbildung der Flugbesatzung

TCAS-Betrieb

Als Basisdokument für die Bewertung des Einflusses der TCAS-Ausbildung in Bezug auf den Aspekt „Menschliche Faktoren“, soweit er die Leistung der Besatzung bei diesem Unfall betrifft, wurde der Anhang E zu dem ICAO State Letter AN 11/19-02/82, „Proposed Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Performance-based Training Objectives“ verwendet. Die russische Behörde hat das „ACAS Implementation Guidance Document“, das von Eurocontrol am 1. Juli 1997 herausgegeben wurde, als Basisdokument für ihre TCAS-Ausbildungsanforderungen verwendet. Im Sinne dieser Untersuchung werden die beiden Dokumente inhaltsmäßig als übereinstimmend betrachtet.

Das „Training Programme for Cockpit Personnel of Aircompanies, Russian Civil Aviation, to use TCAS/ACAS“ legt einen Rahmen für das Ausbildungsprogramm fest und erteilt die Berechtigung zur Ausbildung an zugelassene staatliche Spezialeinrichtungen mit speziell qualifizierten Ausbildern. Mit Ausnahme der Verwendung eines Simulators oder des CBT (Computer Based Training) beinhaltet das Ausbildungsprogramm der staatlichen Spezialeinrichtungen die Ziele des von Eurocontrol herausgegebenen „ACAS Implementation Guidance Document“.

Die Ausbildung im Simulator oder die rechnergestützte Ausbildung (CBT) wird in erster Linie dafür benutzt, um die Reaktionen auf TCAS-Kommandos zu schulen, da RAs hochbelastend sind und eine schnelle und angemessene Reaktion von der betroffenen Besatzung erfordern. Die Schulung hat aber nicht nur zum Ziel, sicherzustellen, dass die Manöver präzise geflogen werden, sondern der viel bedeutsamere Aspekt ist, dass auf die RA eine korrekte Reaktion erfolgt.

Der Einsatz dieser Schulungsgeräte führt jedoch auch zu einem effektiveren Verstehen der angezeigten Daten und vermittelt den Auszubildenden ein stärkeres Bewusstsein dafür, welche Möglichkeiten das System bietet. Gerade dieses Verstehen kann einem Piloten dazu verhelfen, den weiteren Verlauf einer sich anbahnenden Situation abzuschätzen und ihn bei der Entwicklung einer darauf ausgerichteten Reaktionsweise zu unterstützen, bevor das TCAS eine TA und/oder RA generiert.

Die Piloten der TU154M und der Navigator hatten den anerkannten TCAS-Ausbildungskursus absolviert, aber an keiner diesbezüglichen Simulator- oder CBT-Schulung teilgenommen. Für den Flugingenieur war keine Ausbildung nach diesem Standard gefordert.

Crew Resource Management (CRM) im Cockpit

ICAO Human Factors Digest No. 2 – „Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT)“ enthält Richtlinien zu den Grundlagen von CRM und der bevorzugten Ausbildungsmethode – LOFT. Die russische Behörde hat zertifizierten staatlichen Spezialeinrichtungen mit speziell qualifiziertem Lehrpersonal die Berechtigung zur CRM-Ausbildung erteilt. Ein umfassendes Ausbildungsprogramm wurde auf der Grundlage eines FAA-Kurses und unter Einbeziehung der Richtlinien und Ziele des ICAO Human Factors Digest No. 2 erarbeitet.

Das Schulungsprogramm der staatlichen Spezialeinrichtungen trägt der Effektivität spezifischer Techniken während der verschiedenen CRM-Ausbildungsphasen Rechnung. Es beginnt mit der Entwicklung der Einsicht für die Relevanz der Inhalte, übergehend zur praktischen Erfahrung und dem Feedback, es betont die Bedeutsamkeit der Vertiefung der erworbenen Fertigkeiten, der Praxis und von Weiterentwicklungen sowie schließlich die Wichtigkeit der Vertiefung der erworbenen Fähigkeiten.

Von den Besatzungsmitgliedern der TU154M hatten nur die beiden Kommandanten eine CRM-Schulung absolviert, wobei der Instruktor als CRM-Ausbilder qualifiziert war. Mit zunehmender

Umsetzung des Schulungsprogramms war beabsichtigt, dass alle Besatzungsmitglieder im Luftfahrtunternehmen eine CRM-Schulung erhalten sollten. Es war auch beabsichtigt, dass CRM ein stärker integrierter Bestandteil im Ausbildungsbetrieb wird.

Die ICAO betrachtet das Streckenflug-Übungsprogramm (LOFT) als das bevorzugte Mittel zum Training und für eine Rückmeldung in der CRM-Ausbildung. Der große Nutzen von Simulatoren und von LOFT-Übungen ist in der internationalen Luftfahrt anerkannt. Das LOFT wird für die Entwicklung angemessener Management-Techniken im Cockpit verwendet, die dann verinnerlicht werden müssen, so dass sie nicht nur unter routinemäßigen Flugbetriebsbedingungen, sondern auch in Situationen mit höherer Belastung umgesetzt werden können.

Für den Fall, dass kein Simulator zur Verfügung steht, empfiehlt die ICAO als alternative Ausbildungsmethoden Rollenspiele und Gruppenübungen mit Videounterstützung. Diese Methoden wurde in das Ausbildungsprogramm der staatlichen Spezialeinrichtungen übernommen, da die Verfügbarkeit von Simulatoren begrenzt war.

Keines der Besatzungsmitglieder der TU154M hatte im Simulator ein LOFT-Programm als Teil der Aus- und Fortbildung absolviert.

Dokumentation

International und innerhalb Russlands steht eine Fülle von Unterlagen über TCAS und dessen Einsatz zur Verfügung. Mit dieser Dokumentation in ihrer Gesamtheit dürfte die Besatzung nicht vertraut gewesen sein, da die spezifischen Informationen im Zusammenhang mit der Verwendung von TCAS in ihrem Flugbetrieb normalerweise in den entsprechenden Handbüchern und in den internen Ausbildungsunterlagen des Unternehmens zu finden waren.

Wie zuvor bereits angesprochen sieht die Auslegung des TCAS einen Einsatz als „letzte Schutzeinrichtung“ vor, jedoch kann es Verwirrung geben, wenn das System in Dokumenten als „Backup“ für andere Systeme oder Konzepte bezeichnet wird.

In der Dokumentation zu diesem Thema wurde versucht, den Besatzungen klare Leitlinien zu geben.

Jedoch können bei der Interpretation der Dokumentation, die der Besatzung am wahrscheinlichsten vertraut war, Zweifel bezüglich der Priorität einer RA aufkommen, insbesondere in einem von der Flugsicherung kontrollierten Luftraum:

- Das TCAS-Pilotenhandbuch, das von der staatlichen Spezialeinrichtung für die Ausbildung der Besatzung der TU154M benutzt wurde, war als Schulungsunterlage für die Verwendung von TCAS geschrieben worden. Es war ein allgemein geschriebenes Handbuch, das sich nicht speziell auf die TU154M oder die russischen Vorschriften (oder die vielen Organisationen, die das Dokument weltweit verwendeten) bezog. In dem Dokument heißt es, dass die genehmigten AOMs Informationen über spezifische TCAS-Konfigurationen enthalten, und dass sich die Flugbesatzungen mit den jeweils besonderen TCAS-Betriebsvorschriften, die in den unterschiedlichen Ländern, in die die Besatzung einfliegt, gelten können, vertraut machen müssen.
- In Abschnitt 6.1 dieses TCAS-Leitfadens für Piloten heißt es: „TCAS 2000 ist als „Backup“ für die Vermeidung von Zusammenstößen nach Sicht, die Anwendung der Ausweichregeln und die Staffelung der Flugsicherung gedacht“, wobei eine gewisse Unklarheit über die Deutung des Begriffes „Backup“ bestehen bleibt.
Diese Doppeldeutigkeit des TCAS-Leitfadens wird weiter unten in dem Abschnitt teilweise aufgeklärt: „Wenn die Flugbesatzung verspätet reagiert oder wegen einer Anweisung der Flugsicherung oder aus Furcht vor einer späteren behördlichen Untersuchung oder aus anderen Gründen zögert, den Flug entsprechend den TCAS-2000-Anweisungen anzupassen, kann damit der von TCAS-2000 gebotene Schutz erheblich verringert oder zunichte gemacht werden.“
Doch selbst mit dieser Erklärung können immer noch Zweifel an der uneingeschränkten Pflicht zur Befolgung einer RA bestehen bleiben.
- Die Flugbetriebsanleitung für die TU154M (Absatz 8.18.3.1 von 07/00) enthält allgemeine Empfehlungen bezüglich der Verwendung des TCAS.
In Absatz 1 der Flugbetriebsanleitung werden als Maßnahmen zur Vermeidung von Zusammenstößen die Staffelung nach Sicht und das Einhalten von Flugstrecken und ATC-Anweisungen genannt.

In Absatz 2 des Flugbetriebsanleitung heißt es, dass TCAS ein zusätzliches System zur Anzeige von Konfliktverkehr ist, das Kommandos für vertikale Manöver gibt, die nötigenfalls zu befolgen sind. Die endgültige Entscheidung zur Befolgung eines TCAS-Kommandos liegt beim PIC. In AOM-Referenz wird darauf hingewiesen, dass Manöver entgegen einem TCAS-Kommando zu einem Zusammenstoß führen können. Diese Referenz kann darauf abzielen, die Piloten darauf hinzuweisen, dass TCAS-Kommandos als letzte Maßnahme zum Schutz vor einem Zusammenstoß in der Luft zu befolgen sind, aber die Struktur des Hinweises lässt sich auch so auslegen, dass die in Absatz 1 genannten Grundlagen Vorrang vor dem Inhalt des Absatzes 2, d.h. einer RA, haben.

- Im AOM der TU154M (Absatz 8.18.3.2 (4) vom 6.12.1999) wird erklärt, dass ein Manöver entgegen einer TCAS-RA verboten ist.
Das ist eine kategorische Aussage, die jedoch nicht das Vorhandensein anderer Faktoren, wie z.B. GPWS, berücksichtigt.

- Im AOM der TU154M (Absatz 8.18.3.4 (2)) steht:
Die Flugsicherung ist die wesentliche Einrichtung zur Vermeidung von Zusammenstößen. Besteht jedoch kein Kontakt mit einer Flugsicherungskontrollstelle, so wird TCAS der Besatzung helfen, Zusammenstöße zu vermeiden.

Dieser Hinweis reduziert den Wert von TCAS, da er besagt, dass TCAS ein Reservesystem („Backup“) für den Fall ist, dass Flugsicherungsdienste nicht zur Verfügung stehen und nicht, wie durch seine Auslegung in den ICAO-Richtlinien eigentlich beabsichtigt, ein letzte Schutzeinrichtung, die dem PIC auch bei voller Verfügbarkeit eines Flugsicherungsdienstes hilft, einen Zusammenstoß zu vermeiden.

In den einschlägigen Dokumenten und den Ausbildungsunterlagen sind die Anforderungen bezüglich der Kontaktaufnahme mit den Flugsicherungskontrolldiensten sowie der Störungsmeldungen an die Behörden im Fall einer TCAS-RA detailliert dargelegt. Danach ist die Meldung an die Flugsicherung durch die Flugbesatzung zum Zeitpunkt des Ereignisses erforderlich unter Verwendung der Terminologie aus den „ICAO Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management“, Doc 4444.

Doc 4444, Absatz 12.3 „ATC Phraseology“ beinhaltet für die verschiedenen TCAS-Ereignisse Standardsprechgruppen.

Für die Situation der Besatzung der TU154M war keine Standardsprechgruppe vorgesehen, weil nach der TCAS-Systemphilosophie eine RA eine höhere Priorität gegenüber einer Anweisung der Flugsicherung hat.

Damit ergab sich keine Notwendigkeit eine Standardsprechgruppe zu definieren.

2.7 Zusammenfassende Beurteilung

Nach dem Zusammenstoß waren beide Flugzeuge nicht mehr steuerbar und der Aufprall auf dem Boden unvermeidbar. Keiner der Insassen hatte eine Chance zu überleben.

Durch die Sektorisierungsarbeiten im ACC Zürich und dem damit verbundenen Betrieb des Radarsystems im „Fallback-Modus“ stand dem Lotsen nicht die uneingeschränkte technische Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zur Verfügung. Über das Ausmaß der Einschränkungen war sich der Lotse nicht in vollem Umfang bewusst, weil er sich z.B. erst im Nachhinein daran erinnerte, dass das optische STCA im „Fallback-Modus“ nicht verfügbar war.

Eine detaillierte Beschreibung der sich aus den Systemarbeiten ergebenden Konsequenzen für die Lotsen als Nutzer des Systems wäre erforderlich gewesen, um sie auf die Folgen bezüglich der Leistungsfähigkeit des Radarsystems aufmerksam zu machen. Die ausgegebenen Weisungen beinhalteten diese Informationen nicht.

Dieser Mangel hatte keine Auswirkungen, weil die Lotsen die ausgehängten Weisungen an diesem Abend nicht eingesehen hatten.

Das optische STCA hätte den Lotsen etwa 2,5 Minuten vor der Kollision auf die Gefahr aufmerksam gemacht. Flugverkehrskontrolle muss aber auch dort funktionieren, wo kein STCA installiert oder aus anderen Gründen nicht verfügbar ist. STCA ist ähnlich wie TCAS ein zusätzliches Sicherheitssystem. Das akustische STCA, das im System erzeugt, aber von niemandem im Kontrollraum wahrgenommen wurde, hatte keinen Einfluss auf das Unfallgeschehen, weil es erst 6,5 NM vor dem errechneten Kollisionspunkt ertönt und zu diesem Zeitpunkt der Lotse das Problem bereits erkannt hatte.

Die BFU kommt zu der Auffassung, dass die technische Leistungsfähigkeit des Radarsystems im „Fallback-Modus“ grundsätzlich ausreichte, einen sicheren Flugbetrieb zu gewährleisten.

Gemäß Dienstplan waren zwei Lotsen für die gesamte Kontrolle des Flugverkehrs im Luftraum des ACC Zürich zuständig. Daraus ergab sich, dass sie die Aufgaben des Radar-Planning (RP) und des Radar-Executive (RE) wahrzunehmen hatten. Darüber hinaus hatte ein Lotse in beschränktem Maße auch die Funktionen des Dienstleiters und des SYMA wahrzunehmen. Damit war keine kontinuierliche Besetzung der unterschiedlichen Arbeitspositionen durch jeweils einen Lotsen gewährleistet, z.B. bei Einhaltung der vorgeschriebenen Pausen.

Die BFU sieht darin eine sich aus der Dienstplanung ergebende unzureichende Besetzung mit Flugverkehrsleitern während des Nachtdienstes.

Die BFU sieht einen weiteren Mangel in der seit Jahren geübten Praxis der Durchführung des Nachtdienstes, dass während verkehrsarmer Zeiten alle Verkehrsführungsaufgaben nur durch einen Lotsen erledigt wurden. Diese Praxis war der Führung und der Qualitätssicherung des Flugsicherungsunternehmens bekannt, die es unterließ den Mangel abzustellen.

Die BFU bewertet diese Mängel als systemische ursächliche Faktoren für das Entstehen des Unfalls.

Der Lotse des ACC Zürich war für die Staffelung der von ihm geführten Luftfahrzeuge zuständig und verantwortlich. Ihm oblag es, durch rechtzeitige Anweisungen an die Flugbesatzungen eine den Vorschriften entsprechende horizontale und vertikale Staffelung zu gewährleisten, die Ausführung der Anweisungen zu überwachen und damit für den sicheren Flugverkehr zu sorgen. Anweisungen durch die Flugsicherung sind für die Crews der geführten Luftfahrzeuge grundsätzlich verbindlich.

Zur Unfallzeit war - bedingt durch den „Fallback-Modus“ - die normale horizontale Staffelung von 5 NM auf 7 NM erhöht worden. Das bedeutete, dass alle Luftfahrzeuge, die in derselben Höhe flogen, einen horizontalen Abstand von mindestens 7 NM voneinander haben mussten. Um 21:34:56 Uhr wurde dieser Abstand unterschritten, d.h. zu diesem Zeitpunkt hätte die TU154M bereits auf FL 350 gesunken sein müssen, um den vertikalen Abstand von 1 000 ft im RVSM-Luftraum zu gewährleisten. Dazu wäre es notwendig gewesen, spätestens um 21:33:49 Uhr - also mindestens eine Minute früher als tatsächlich geschehen - die Anweisung zum Sinken auf FL 350 zu geben. Diese Zeit ergibt sich aus einer in dieser Höhe üblichen Sinkgeschwindigkeit von 1 000 ft pro Minute.

Die Einhaltung der vorgeschriebenen Staffelung hätte den Unfall sicher verhindert. TCAS-TAs bzw. RAs wären nicht ausgelöst worden.

Als zu den beiden Flugzeugen, für die bereits Kontrollstreifen vorlagen, noch der unerwartete Anflug eines verspäteten A320 auf Friedrichshafen gemeldet wurde, übernahm der Lotse zusätzlich auch die Aufgabe, diesen Anflug zu führen. So hatte er jetzt zwei nebeneinander liegende Arbeitsplätze mit insgesamt drei Funktionen (RP, RE und Anflug) abzudecken und dabei den Funkverkehr auf zwei verschiedenen Frequenzen durchzuführen.

Durch die Konzentration auf diese Aufgabe, die durch Ausfall der Telefonanlage (nach Friedrichshafen) zusätzliche Zeit kostete, wurde der Lotse zu spät auf die bevorstehende Unterschreitung der Staffelung der beiden Flugzeuge aufmerksam. Seine Anweisungen und Verkehrsinformationen, die wieder vom Arbeitsplatz RP an die Crew der TU154M ergingen, wurden der Dringlichkeit der Situation nicht gerecht bzw. trugen dazu bei Irritationen zu erzeugen. Der Lotse sah das Problem zu früh als gelöst an und wechselte seinen Arbeitsplatz. So erkannte er nicht mehr, dass die Crew der B757-200 dem Kommando ihres TCAS gefolgt war und ebenfalls den Sinkflug begonnen hatte und somit eine akute Kollisionsgefahr bestand. Er fühlte sich zum Arbeitsplatzwechsel durch den Funkspruch der Crew des A320 gedrängt, die ACC Zürich auf der anderen Frequenz schon zum zweiten Mal gerufen hatte. Der Lotse hörte die Meldung der Crew der B757-200 („TCAS descent“) um 21:35:19 Uhr (also 13 Sekunden vor dem Zusammenstoß) nicht.

Es wäre für den Lotsen grundsätzlich möglich gewesen, das zum Zeitpunkt des Zusammenstoßes vorhandene Verkehrsaufkommen von drei Flugzeugen sicher zu führen. Dieses wurde auch vom Lotsen so bewertet, sodass er auf eine Unterstützung durch den sich im Pausenraum befindlichen Kollegen verzichtete. Diese Entscheidung basierte sehr wahrscheinlich auf seiner Erfahrung bezüglich des reibungslosen Arbeitsablaufes und berücksichtigte dabei nicht eventuell auftretende Probleme, wie den Ausfall der Telefonanlage.

Als er die Problematik mit der nicht funktionsfähigen Telefonanlage erkannt hatte, war es für eine rechtzeitige Alarmierung des Kollegen bereits zu spät. Der wiederholte Versuch, Friedrichshafen über die Telefonleitung von der Ankunft des A320 zu unterrichten, lenkte seine Aufmerksamkeit länger als beabsichtigt von der vorausschauenden Verkehrsführung der beiden anderen Flugzeuge ab.

Die ihm möglich gewesene Separierung der sich einander annähernden Flugzeuge durch entsprechende Anweisungen zu einem früheren Zeitpunkt führte er nicht durch, da er die sich anbahnende Annäherung noch nicht als kritisch eingeschätzt hatte.

Als der Lotse seine Aufmerksamkeit wieder auf die beiden Flugzeuge im oberen Luftraum gerichtet und den Konflikt erkannt hatte, gab er eine sofortige Ausweichanweisung an die Crew der TU154M, die diese unmittelbar umsetzte und mit Verzögerung bestätigte. Von der unmittelbar nach seiner Anweisung ergangenen und zu dieser im Widerspruch stehenden RA hatte er keine Kenntnis.

Die BFU bewertet die insgesamt zu spät erfolgte Anweisung an die Crew der TU154M und die sich daraus ergebende Staffelungsunterschreitung als eine der unmittelbaren ursächlichen Faktoren für das Entstehen des Unfalls.

Die Crew der TU154M hat die Entwicklung auf der Anzeige des TCAS über Konfliktverkehr aufmerksam verfolgt und darüber auch intern diskutiert. Als beide Flugzeuge noch ca. 10 NM voneinander entfernt waren, entdeckte der Kommandant der TU154M optisch das andere Flugzeug. So war die TA für die Crew keine Überraschung. Als die Anweisung des Lotsen erging, auf FL 350 zu sinken und dabei ausdrücklich auf Konfliktverkehr hingewiesen wurde, war der Crew klar, dass auch der Lotse die Situation erkannt und eine Entscheidung zur Lösung des Problems getroffen hatte.

Sie folgte dieser Anweisung sehr zügig, weil sie sich in einer durch Unsicherheit geprägten Situation befand, die nun als gelöst angesehen werden konnte. Als TCAS danach einen Steigflug kommandierte, blieb die Crew bei ihrer Entscheidung dem Lotsen zu folgen. Die „Richtigkeit“ der Entscheidung ihm zu folgen, wurde der Crew noch durch die erneute Anweisung zum Sinkflug und dem Hinweis des Lotsen auf die Flughöhe des anderen Flugzeuges in FL 360 bestätigt.

Die BFU geht aber davon aus, dass die Crew der TU154M dem TCAS gefolgt wäre, wenn der Lotse nicht zuvor ein Ausweichmanöver in Form eines Sinkfluges angeordnet hätte. Die beiden Ausweichanweisungen wurde von den beiden Piloten nicht diskutiert, woraus geschlossen wird,

dass die Entscheidung für den bereits eingeleiteten Sinkflug nicht in Frage gestellt wurde. Lediglich der links hinten sitzende Copilot, der allerdings keine offizielle Funktion im Cockpit hatte, hatte zweimal auf das TCAS und seine Anweisung zum Steigen hingewiesen und damit den angeordneten Sinkflug hinterfragt. Er fand aber damit kein Gehör, weil der PIC keinen Zweifel an der Richtigkeit der Lotsenanweisung hatte.

Bei dieser Entscheidung wurde außer Acht gelassen, dass eine RA ein vertikales Ausweichmanöver ist, bei dem die beteiligten Luftfahrzeuge jeweils entgegengesetzte Kommandos zur Kollisionsvermeidung erhalten.

In den flugbetrieblichen Bestimmungen des Luftfahrtunternehmens der TU154M sowie in den ICAO-Dokumenten wurden zwar keine klaren Anweisungen gegeben, wie die Crew zu verfahren hat, wenn die Anweisungen der Flugsicherung und eine RA sich einander widersprechen. Sie machen jedoch die klare Aussage, dass Manöver, die das Gegenteil einer RA zum Inhalt haben, verboten („Запрещается выполнять команды противоположные тем, которые выдает система.“) sind.

Es kann angenommen werden, dass die Crew die Anweisung zum Sinkflug auf FL 350 mehr als ein Manöver zur Verhinderung einer drohenden Kollision als ein normales Manöver zur Herstellung der vorgeschriebenen Staffelung auffasste. In dieses Bild passt der sehr zügig eingeleitete und durchgeführte Sinkflug, der nicht rechtzeitig beendet wurde, um in FL 350 auszuleiten.

Nachdem die Crew einen Sinkflug entgegengesetzt zur RA eingeleitet hatte, war das Endergebnis vom Zufall abhängig.

Die BFU sieht in der Ausführung eines Manövers, das der RA entgegengesetzt war, einen der unmittelbaren ursächlichen Faktoren für das Entstehen des Unfalls.

Die Crew der B757-200 hat den Konfliktverkehr offensichtlich erst wahrgenommen als TCAS um 21:34:42 Uhr eine TA generierte.

Als sich der Copilot als PF um 21:34:24 Uhr entschlossen hatte, die Toilette aufzusuchen und die Steuerung des Flugzeuges an den PIC zu übergeben, hätte er dies vermutlich nicht getan, wenn die Crew den Konfliktverkehr auf dem VSI/TRA bereits entdeckt gehabt hätte. Zu diesem Zeitpunkt hatten beide Flugzeuge noch eine Entfernung von 13,6 NM zueinander, auf dem VSI/TRA wäre das andere Flugzeug dargestellt worden, vorausgesetzt die Entfernungsskala war auf 16 NM eingestellt. Die tatsächliche Einstellung konnte nicht ermittelt werden.

Es gehört nicht zu den vorgeschriebenen und geübten Verfahren die TCAS-Darstellungen auf dem entsprechenden Instrument ständig zu beobachten. Entsprechend der Systemphilosophie wird erst mit der akustischen Warnung einer TA bzw. RA die Aufmerksamkeit der Besatzung auf den anstehenden Konflikt gerichtet.

Als die TA ausgelöst wurde, war der Copilot wahrscheinlich bereits im hinteren Cockpitbereich. Er vernahm die TA und kehrte an seinen Arbeitsplatz zurück. Um 21:35:10 Uhr hatte er seinen Arbeitsplatz wieder eingenommen.

In der entscheidenden Zeit von 21:34:56 Uhr an, als die RA generiert wurde, bis zur Rückkehr des Copiloten an seinen Arbeitsplatz, hatte der PIC gleichzeitig die Aufgaben des PF und die des PNF auszuüben. Seine primäre Aufgabe war es, den durch TCAS kommandierten Sinkflug einzuleiten. Innerhalb von 12 Sekunden wurde die vorgesehene Sinkrate von 1 500 ft/min erreicht. Auch auf die TCAS-Anweisung, den Sinkflug zu verstärken („increase descent“), reagierte er richtig. Die dafür vorgegebene Sinkgeschwindigkeit wurde innerhalb von ca. sechs Sekunden erreicht.

Die Zeitspanne von 23 Sekunden von der RA bis zur Meldung an ACC Zürich über den eingeleiteten TCAS-Sinkflug scheint grundsätzlich zu lang. Die besondere Situation, in der sich der Kommandant befand, erklärt den Grund dafür. Er war PF und hatte zu diesem Zeitpunkt nicht die Unterstützung seines Copiloten. So leitete er unverzüglich den TCAS-Sinkflug ein, der verfahrensbedingt absolute Priorität hatte. Für das danach zu erfolgende Absetzen der Meldung bestand dann keine Gelegenheit, weil die Frequenz durch den Funksprechverkehr mit der TU154M blockiert war. Erst als der Copilot wieder seinen Platz im Cockpit eingenommen und den Kopfhörer aufgesetzt hatte, war die Frequenz frei und die Meldung wurde abgesetzt.

Die BFU kommt zu der Auffassung, dass die Crew der B757-200 auf die Situation richtig reagiert hat. Sie hat die vorgegebenen Verfahren so abgearbeitet, wie es ihr in Anbetracht der besonderen Umstände möglich war.

Mit ACAS/TCAS wurde ein zusätzliches Sicherheitssystem in die Luftfahrt eingeführt. Als in ein Luftfahrzeug eingebautes System arbeitet es bodenunabhängig. ACAS/TCAS ist als „System der letzten Möglichkeit“ konzipiert und arbeitet unabhängig von der Flugsicherung. Beiden ist gemeinsam, dass sie u.A. die Aufgabe haben, Kollisionen zu vermeiden. Die Anweisungen beider Systeme können entgegengerichtet sein. Da ACAS/TCAS im Falle einer RA aber eine höhere Priorität hat, sind Widersprüche nicht vorhanden.

Bei der Umsetzung dessen, was mit der Einführung von ACAS/TCAS in die Luftfahrt beabsichtigt war, sind Defizite erkennbar:

Die Integration von ACAS/TCAS II in das System Luftfahrt war unzureichend und entsprach nicht in allen Punkten der Systemphilosophie. Das für ACAS/TCAS II von der ICAO veröffentlichte Regelwerk und in der Folge damit auch die Regelungen der nationalen Luftfahrtbehörden, sowie die Betriebs- und Verfahrensanweisungen des TCAS-Herstellers und der Luftfahrtunternehmen waren nicht einheitlich, lückenhaft und teilweise in sich widersprüchlich.

Diese Mängel werden von der BFU als systemische ursächliche Faktoren für das Entstehen des Unfalls angesehen.

3. Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

Flugzeuge

- Beide Flugzeuge waren ordnungsgemäß zum Verkehr zugelassen.
- Die Untersuchung ergab keine Hinweise auf technische Mängel an beiden Flugzeugen.
- Beide Flugzeuge waren für RVSM zugelassen.
- Beide Flugzeuge waren mit TCAS II, Version 7 (ACSS TCAS 2000) nachträglich ausgerüstet worden. Die optische Anzeige erfolgte jeweils auf einem VSI/TRA-Anzeigeelement.
- Bei beiden Flugzeugen gab es keine Hinweise auf eine TCAS-Systemfehlfunktion.
- Der TCAS-Computer der B757-200 war beim Aufprall zerstört worden, sodass eine Auswertung nicht mehr möglich war. Aus dem TCAS-Computer der TU154M konnten wesentliche Daten beider Flugzeuge ausgewertet werden.

Unfallhergang

- Zum Unfallzeitpunkt herrschten Sichtwetterbedingungen bei dunkler Nacht.
- Ein Ausweichmanöver nach Sicht war aufgrund der hohen Annäherungsgeschwindigkeit von 702-718 kt (361-369 m/s) und der Dunkelheit für keine der Flugbesatzungen eine Möglichkeit den Zusammenstoß zu verhindern.
- Die Flugbahnen beider Flugzeuge kreuzten sich rechtwinklig. Während die B757-200 einen nördlichen Kurs flog (004°), flog die TU154M einen westlichen Kurs (274°). Der Zusammenstoß erfolgte in einer Höhe von 34 890 ft.
- Die erste Berührung erfolgte zwischen dem Seitenleitwerk der B757-200 und dem linken Tragflügel und nachfolgend an der linken Rumpfseite der TU154M im Bereich der Notausstiege.
- Die Beschädigungen am Rumpf der TU154M führten zu einem explosionsartigen Druckverlust im Flugzeug.
- Aufgrund der strukturellen Beschädigungen war die TU154M nach der Kollision nicht mehr flugfähig. Sie brach im Fluge auseinander und Teile gerieten in Brand.
- Bei der Kollision wurde an der B757-200 ca. 80% des Seitenleitwerkes zerstört. Das Flugzeug geriet danach in einen unkontrollierten Flugzustand und prallte mit einer negativen Längsneigung von mindestens 70° in einem Waldgebiet auf.
- Der Unfall war für die Insassen beider Flugzeuge nicht überlebbar.

Flugbesatzungen

- Die Flugbesatzungsmitglieder beider Flugzeuge waren im Besitz der erforderlichen gültigen Lizenzen und medizinischen Tauglichkeitszeugnisse.
- Die Obduktionen an allen Flugbesatzungsmitgliedern ergaben keine Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen. Die Untersuchungen auf Medikamente, Drogen und Alkohol erbrachten negative Befunde.

Flugbetrieb

- In beiden Luftfahrtunternehmen gab es Ausbildungsprogramme für TCAS und die Flugbesatzungen hatten, soweit erforderlich, ein entsprechendes Training absolviert.
- Ein praktisches TCAS-Training der Flugbesatzung der TU154M im Flugsimulator war nicht möglich, weil in den Simulatoren keine entsprechende Ausrüstung vorhanden war.
- In den Flugbetriebshandbüchern beider Unternehmen gab es Regelungen über die Handhabung der TCAS-Ausrüstung. Die Flugbetriebshandbücher beider Unternehmen enthielten keine detaillierte Darstellungen der Aufgaben der einzelnen Flugbesatzungsmitglieder für den Fall von TCAS-Ereignissen.
- In der Flugbetriebsanleitung für TU154M war in der TCAS-Beschreibung eine Formulierung gewählt, nach der die Flugsicherung bei der Vermeidung einer Kollision die höchste Bedeutung hatte.

Flugsicherung

- Der Unfall ereignete sich über deutschem Hoheitsgebiet. Entsprechend einer schriftlichen Vereinbarung war ACC Zürich für die Flugverkehrssteuerung dieses Luftraums zuständig.

- Die Leitung des Flugsicherungsunternehmens hatte mit Datum vom 23. Oktober 2001 neue Grundsätze zur Sicherheitskultur eingeführt. Die Grundsätze lassen erkennen, dass eine Sicherheitskultur verwirklicht werden sollte, in der die Führungskräfte und die Mitarbeiter sich ihrer Bedeutung für einen sicheren Betriebsablauf bewusst sind. Zur Umsetzung dieser Grundsätze waren auch organisatorische Maßnahmen ergriffen worden. Der Prozess zur Realisierung der neuen Sicherheitskultur war allerdings noch nicht abgeschlossen.
- Beim ACC Zürich wurden in der Nacht vom 1. zum 2. Juli 2002 Sektorisierungsarbeiten durchgeführt, bei denen Kontrollsektoren neu geordnet werden sollten. Während dieser Zeit wurde das Radarsystem im "Fallback-Modus" betrieben und die Staffelung war von 5 auf 7 NM erhöht worden.
Dabei stand der MV9800-Radar-Rechner den Lotsen nicht zur Verfügung, womit
 - eine automatische Korrelation der Flugziele nicht mehr erfolgte und
 - das optische STCA nicht mehr dargestellt wurde.
- Die direkten Telefonverbindungen zu den benachbarten Flugsicherungsdiensten standen dem Lotsen des ACC Zürich in der Zeit von 21:23 bis 21:34:37 Uhr nicht zur Verfügung. Eine automatische Umschaltung für eingehende Gespräche auf das Reservesystem (bypass) existierte nicht.
Um 21:34:44 Uhr wurde der erste von insgesamt 4 Anrufen registriert, wobei 3 Anrufe vom UAC Karlsruhe und ein Anruf aus Friedrichshafen aufliefen. Diese Anrufe wurden nicht angenommen.
- Für die Durchführung der Sektorisierungsarbeiten gab es schriftliche Weisungen, in denen jedoch nicht beschrieben war, wie sich die Arbeiten auf die Verfügbarkeit der technischen Einrichtungen auswirken.
- Die Sektorisierungsarbeiten waren im CoC nicht bekannt. Eine Bewertung zur Risikominimierung wurde nicht durchgeführt.
- Neben den Technikern waren drei weitere Mitarbeiter zur Unterstützung im Kontrollraum anwesend:
 - ein Mitarbeiter aus dem Leitungsstab zur Unterstützung des Lotsen
 - ein SYMA
 - ein Lotse zur Unterstützung der TechnikerDie Aufgaben dieser Mitarbeiter waren dem Lotsen nicht bekannt.
- Die Sektorisierungsarbeiten waren mit den benachbarten Flugverkehrskontrollstellen nicht koordiniert worden.
- Gemäß Dienstplan waren während des Nachtdienstes zwei Lotsen für die gesamte Kontrolle des Flugverkehrs im Luftraum des ACC Zürich zuständig. Sie hatten die Aufgaben des Radar-Planning (RP), Radar-Executive (RE) und in beschränktem Maße auch die Funktionen des Dienstleiters und des Systemmanagers wahrzunehmen. Damit war keine kontinuierliche Erfüllung der verschiedenen Aufgaben gewährleistet. Eine Bewertung zur Risikominimierung des Nachtdienstes wurde nicht durchgeführt.
- Die Lotsen waren verpflichtet die Weisungen zur Durchführung der Systemarbeiten zu lesen. Das hatten sie aber nicht getan. Sie waren vom Dienstleiter lediglich über die Tatsache der Arbeiten generell informiert worden.
- Zur Unterstützung bei Routine- und Koordinierungsaufgaben hatten die Lotsen zwei Assistenten zur Verfügung, die aber keine Berechtigungen zur Ausübung der Verkehrsführung hatten.
- Nachdem der Flugverkehr abgeflaut war, begaben sich ein Lotse gegen 21:15 Uhr und ca. 10 Minuten später ein Assistent in die Pausenräume. Es war üblich, dass sie erst in den Morgenstunden in den Kontrollraum zurückkehrten.
- Es war der Führung und der Qualitätssicherung des Flugsicherungsunternehmens seit Jahren bekannt und wurde von ihnen geduldet, dass während verkehrsarmer Zeiten in der Nacht nur ein Lotse alle Verkehrsführungsaufgaben erledigte, während sich der andere Lotse zur Ruhe begab.
- Beide Lotsen waren in Übereinstimmung mit den geltenden Vorschriften qualifiziert und lizenziert.
- Der im Kontrollraum verbliebene Lotse wurde nach dem Unfall mit negativem Ergebnis auf Medikamente, Drogen und Alkohol untersucht.
- Zur Unfallzeit hatte der Lotse drei Flugzeuge zu führen:

- die B757-200 im Direktanflug auf das Tango VOR in FL 360
- die TU154M im Direktanflug auf das Trasadigen VOR in FL 360 und
- einen verspäteten Airbus A320 im Anflug auf Friedrichshafen.

Der Airbus wurde auf 119.920 MHz und die beiden anderen Flugzeuge auf 128.050 MHz geführt. Dadurch konnten sie einander nicht hören und es kam zu gleichzeitigen Sendungen.

Für alle Flüge lagen dem Lotsen die Kontrollstreifen rechtzeitig vor. Aus ihnen war die sich anbahnende Konfliktsituation (B757-200 und TU154M) nur in Verbindung mit dem Radarbild erkennbar.

- Der Lotse war allein für die gesamte Flugverkehrskontrolle im ACC Zürich zuständig. Dabei hatte er zwei nebeneinander liegende Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Frequenzen zu betreuen und arbeitete an zwei Radarmonitoren. Auf den Monitoren waren Radarkarten und unterschiedliche Entfernungsbereiche eingespielt, um die Flüge im oberen Luftraum und den Anflug im unteren Luftraum auf Friedrichshafen zu führen.
- Der Lotse war sich nicht bewusst, dass er im Fallback-Modus das optische STCA nicht zur Verfügung hatte. Ein automatische Anzeige über die Nichtverfügbarkeit des optischen STCA war im System nicht vorhanden.
- Der Lotse konzentrierte seine Aufmerksamkeit in den letzten fünf Minuten vor dem Zusammenstoß verstärkt auf den Airbus A320, der sich im Anflug auf Friedrichshafen befand.
- Im Reservetelefon-System (Bypass) trat zeitweilig ein technischer Fehler auf, der zur Folge hatte, dass die notwendige Koordinierung mit Friedrichshafen nicht telefonisch erfolgen konnte.
- Ein Radarlotse des UAC Karlsruhe wurde um 21:33:24 Uhr von seinem STCA auf die Konfliktsituation aufmerksam gemacht. Seine Versuche, den Lotsen des ACC Zürich telefonisch zu warnen, schlugen fehl, weil eine Verbindung nicht hergestellt werden konnte.
- Die drohende Staffelungsunterschreitung wurde durch den Lotsen nicht rechtzeitig bemerkt. Die Anweisung zum Sinkflug auf FL 350 an die TU154M erfolgte um 21:34:49 Uhr (43 Sekunden vor der Kollision), zu spät, um die vorgeschriebene Staffelung zur B757-200 zu gewährleisten. Die dabei verwendete Phraseologie entsprach nicht der Dringlichkeit der Situation.
- Der vorgeschriebene Staffelung von 7 NM wurde um 21:34:56 Uhr unterschritten.

ACAS/TCAS

- Die Crew der TU154M folgte sofort der Anweisung des Lotsen und leitete den Sinkflug ein.
- Um 21:34:56 Uhr (35 Sekunden vor der Kollision) generierte TCAS in beiden Flugzeugen gleichzeitig eine RA.
 - Die Crew der B757-200 erhielt die RA zum Sinkflug. Der Copilot befand sich zu diesem Zeitpunkt nicht an seinem Arbeitsplatz. Der PIC folgte der RA und leitete den Sinkflug ein.
 - Die Crew der TU154M erhielt die RA zum Steigflug als sie den Sinkflug bereits eingeleitet hatte. Die RA führte nicht zu einer Revision der Entscheidung und der Sinkflug wurde fortgesetzt. Bei dieser Entscheidung wurde nicht berücksichtigt, dass gleichzeitig mit der RA in dem anderen beteiligten Luftfahrzeug mit hoher Wahrscheinlichkeit eine entgegengesetzte RA generiert werden würde.
- Der Copilot der TU154M stellte die Beibehaltung des Sinkfluges zweimal in Frage. Er konnte sich aber kein Gehör verschaffen. Ein Hinweis, dass TCAS Vorrang vor den Anweisungen der Flugsicherung hat, erfolgte von keinem der Besatzungsmitglieder.
- Die Meldung der Crew der B757-200 über „TCAS descent“ an ACC Zürich erfolgte 23 Sekunden nach der RA, als der Copilot wieder seinen Arbeitsplatz eingenommen hatte und die Frequenz wieder frei war.
- Diese Meldung der Crew der B757-200 an ACC Zürich wurde vom Lotsen gemäß seiner Aussage nicht wahrgenommen. Der erste Teil der Meldung war auf Grund gleichzeitiger Sendung durch beide Besatzungsmitglieder unverständlich. Der zweite Teil fiel zeitlich zusammen mit einem Funkspruch auf dem benachbarten Arbeitsplatz (RE), gesendet vom A320.
- Im MV9800-Rechner von ACC Zürich wurde um 21:35:00 Uhr eine akustische STCA-Warnung an den Arbeitsplatz des Lotsen herausgegeben. Diese Warnung wurde im Kontrollraum nicht wahrgenommen.

- Nachdem der Lotse den eingeleiteten Sinkflug der TU154M bemerkt hatte, wandte er sich wieder dem A320 zu, dessen Crew ihn schon zweimal gerufen hatte. Er beobachtete die sich entwickelnde Situation nicht weiter.
- Eine im System ACAS/TCAS vorgesehene automatische Übermittlung (downlink), die die Flugsicherung über ausgelöste RA's informiert, ist weltweit noch nicht eingeführt. Es wurde festgestellt, dass es bei der verfahrensmäßig vorgesehenen Meldung über Funk zu Verzögerungen oder Verlusten von Informationen kommen kann.
- Die zum Unfallzeitpunkt gültigen internationalen Regelungen und nationalen Vorschriften bzw. Verfahren bezogen auf ACAS/TCAS waren teilweise nicht ausreichend klar bzw. lückenhaft, missverständlich und entsprachen nicht in allen Punkten der Systemphilosophie.

3.2 Ursachen

Der Unfall ist auf folgende unmittelbare Ursachen zurückzuführen:

- Die drohende Staffelungsunterschreitung wurde durch die Flugsicherungskontrollstelle nicht rechtzeitig bemerkt. Die Anweisung zum Sinkflug an die TU154M erfolgte zu einem Zeitpunkt, als die vorgeschriebene Staffelung zur B757-200 nicht mehr gewährleistet werden konnte.
- Die Crew der TU154M folgte der Anweisung der Flugverkehrskontrollstelle zum Sinkflug und befolgte sie auch weiter als TCAS sie zum Steigflug aufforderte. Damit wurde ein zur TCAS-RA entgegengesetztes Manöver durchgeführt.

Der Unfall ist auf folgende „systemische“ (systemic) Ursachen zurückzuführen:

- Die Integration von ACAS/TCAS II in das System Luftfahrt war unzureichend und entsprach nicht in allen Punkten der Systemphilosophie. Das für ACAS/TCAS II von der ICAO veröffentlichte Regelwerk und in der Folge damit auch die Regelungen der nationalen Luftfahrtbehörden sowie die Betriebs- und Verfahrensanweisungen des TCAS-Herstellers und der Luftfahrtunternehmen waren nicht einheitlich, lückenhaft und teilweise in sich widersprüchlich.
- Die Führung und das Qualitätsmanagement des Flugsicherungsunternehmens gewährleistete keine permanente Besetzung der geöffneten Arbeitspositionen mit Flugverkehrsleitern im Nachtdienst.
- Die Führung und das Qualitätsmanagement des Flugsicherungsunternehmens duldete seit Jahren, dass zu verkehrsarmen Zeiten in der Nacht nur ein Lotse arbeitete, während sich der ebenfalls zur Schicht gehörende zweite Lotse zur Ruhe begab.

4. Sicherheitsempfehlungen

Die BFU hat am 1.10.02 folgende Sicherheitsempfehlung an die ICAO herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 18/2002

Die ICAO sollte die internationalen Regelungen in Annex 2, Annex 6 und PANS-OPS (Doc 8186) ändern, so dass Piloten vorgeschrieben ist TCAS RA zu befolgen, unabhängig davon, ob gegenteilige Flugsicherungsanweisungen vor, während oder nach den RA erteilt werden. Luftfahrzeugführer sollten der RA folgen, bis TCAS „clear of conflict“ anzeigt.

Die BFU hat am 21.7.03 folgende Sicherheitsempfehlungen an das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL/FOCA) der Schweiz herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 01/2003

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) sollte sicherstellen, dass das Flugsicherungsunternehmen Verfahren für die Durchführung von Wartungsarbeiten an Flugsicherungssystemen herausgibt und einführt, in denen betriebliche Auswirkungen und die verfügbaren Redundanzen festgelegt sind. Die Verfahren sollten folgende Aspekte beinhalten:

- Detaillierte Festlegung der Aufgabenbereiche der Abteilungen Betrieb und Technik.
- Einplanen einer Personalreserve, sofern Wartungsarbeiten an Flugsicherungssystemen durchgeführt werden.
- Rechtzeitige Bekanntmachung der Verfahren an die Lotsen, um sie auf die eingetretenen spezielle Situation vorzubereiten.
- Entwicklung und Einführung von Checklisten für technisches Personal und Betriebspersonal zur Erhöhung der Sicherheitsreserven während der Durchführung von Systemarbeiten.
- Auswahl des aus operationeller Sicht besten Zeitraums für Arbeiten an Flugsicherungssystemen.

Sicherheitsempfehlung Nr. 02/2003

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das ACC Zürich mindestens mit der folgenden Anzahl von Lotsen besetzt ist:

- Zu jeder Zeit sollten sich mindestens zwei Lotsen im Dienst befinden.
- Es sollten mindestens zwei Lotsen an Streckenkontrollsektoren arbeiten, d.h. ein Radar Planer (RP) und ein Radar Executive (RE).
- Wenn durch das ACC Zürich die Anflugkontrolle für Friedrichshafen und Altenrhein/St. Gallen durchgeführt werden muss, sollte ein zusätzlicher Lotse vorgesehen werden. Alternativ sollte diese Aufgabe durch APP Zürich übernommen werden.
- Zusätzliche Lotsen sind vorzusehen, um die Einhaltung von Pausen zu gewährleisten.

Sicherheitsempfehlung Nr. 03/2003

Das BAZL sollte sicherstellen, dass die Lotsen Anfangs- und Fortbildungsschulung erhalten, die theoretische und praktische (Simulator) Notverfahren beinhaltet, insbesondere die folgenden Aspekte:

- Erkennen potentieller Verkehrskonflikte und Sicherstellung der Staffelung in Übereinstimmung mit internationalen Standards.
- Schnelle Wiederherstellung der Mindeststaffelung sofern diese unterschritten wurde.
- Anwendung geeigneter Phraseologie mit dem Schwerpunkt, in kürzest möglicher Zeit und mit einem Minimum an Übertragungszeit die Situation zu bereinigen.

Die BFU hat am 19.05.2004 folgende Sicherheitsempfehlungen an die ICAO herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 06/2004

ICAO sollte sicherstellen, dass die Regelwerke und Verfahren mit Bezug auf ACAS einheitlich klar und unmissverständlich sind. Die ICAO Annexe 2, 6, PANS und das Schulungsmaterial sollten in eindeutiger Weise den Vorgaben entsprechen.

Das Verfahren für Piloten sollte die folgenden Elemente beinhalten:

Im Fall einer ACAS Resolution Advisory (RA) sollen Piloten:

- Unverzüglich die RA und damit ACAS angewiesene Manöver ausführen, es sei denn, dass die Ausführung die Sicherheit des Flugzeuges gefährden würde.
- Niemals entgegengesetzt zu einer RA manövrieren und niemals ein zu einer RA entgegengesetztes Steigen bzw. Sinken beibehalten.

Sicherheitsempfehlung Nr. 07/2004

Die ICAO sollte durch Verbesserung der Aus- und Fortbildung bei den Piloten ein hohes Maß an Akzeptanz und Vertrauen in ACAS gewährleisten. Zu diesem Zweck sollte die Anlage B des State Letter AN 11/19-2/82 in ein PANS (Procedure for Air Navigation Service) umgewandelt werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 08/2004

Zur Verbesserung der Arbeit von ACAS sollte die ICAO die Entwicklung initiieren, RAs an die Flugsicherung unter Nutzung von Technologien wie SSR Mode S und ADS-B zu übermitteln.

Sicherheitsempfehlung Nr. 09/2004

Zur Verbesserung der Untersuchung künftiger Unfälle und Störungen sollte ICAO fordern, dass Flugsicherungsstellen zusätzlich zu den gegenwärtigen Vorschriften mit Aufzeichnungsanlagen ausgerüstet sind, mit denen Hintergrundgespräche und -geräusche an den Lotsenarbeitsplätzen, vergleichbar mit Area Microphone Systemen im Cockpit, aufgezeichnet werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 16/2004

ICAO sollte unter Nutzung eigener wie auch verfügbarer internationaler Ressourcen sicherstellen, dass alle ACAS/TCAS Nutzer in gleicher Weise auf RAs reagieren. Im Zuge von Überprüfungen sollte die ICAO die Einhaltung der ACAS SARPs und Trainingssystemphilosophien in allen Luftverkehrsbereichen anstreben.

Die BFU hat am 19.05.2004 folgende Sicherheitsempfehlungen an das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL/FOCA) der Schweiz herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 10/2004

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) sollte sicherstellen, dass die Flugsicherungskontrollstellen des Flugsicherungsunternehmens mit einem effektiv arbeitenden Warnsystem Short Term Conflict Alert (STCA) ausgestattet sind, bei dem folgende Mindestanforderungen erfüllt sind:

- An dem jeweils betroffenen Lotsenarbeitsplatz sollte eine geeignete Anzeige vorhanden sein, die den Lotsen auf einen Ausfall (bzw. Nichtverfügbarkeit) des Warnsystems STCA aufmerksam macht.
- Das akustische STCA sollte auf ein für den Lotsen unüberhörbares Lautstärkeniveau fest eingestellt sein.
- Nach Auslösen des Signals sollte dieses permanent ertönen und das Ausschalten des Signals sollte an dem betroffenen Arbeitsplatz des Lotsen formal quittiert werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 11/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das Flugsicherungsunternehmen die Flugverkehrskontrollstellen mit Telefonsystemen ausstattet, die bei Ausfall oder Abschalten des Haupttelefonsystems eine automatische Rufumleitung von ankommenden Telefongesprächen auf das Reservetelefonssystem gewährleisten.

Sicherheitsempfehlung Nr. 12/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das Radarsystem des Flugsicherungsunternehmens technisch so ausgestattet ist, dass die Verkehrssituation auf den Radarmonitoren der Lotsen in Zeitabständen aktualisiert werden, die den Mindestforderungen von Eurocontrol entsprechen d.h. für Bezirkskontrollstellen (ACC) nicht mehr als 8 Sekunden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 13/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass in den Flugverkehrskontrollstellen des Flugsicherungsunternehmens zusätzlich zu den aufgezeichneten Radardaten entsprechend der Empfehlung von Eurocontrol auch individuelle Einstellungen und die dargestellten Informationen auf den Monitoren (ICWS) der einzelnen Arbeitsplätze aufgezeichnet werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 17/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das Flugsicherungsunternehmen geeignete Maßnahmen einleitet, um ein effektives Wirken seines Safety Management Systems in der Weise sicherstellt, dass internationale Forderungen (ICAO SAPRs, Eurocontrol ESARRs) erfüllt und geeignete Safety Strategies, Management Techniken und Qualitätssicherungsverfahren eingeführt und ständig überprüft werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 18/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das Flugsicherungsunternehmen eine Beurteilung des erforderlichen Personalbestandes durchführt. Diese Beurteilung sollte nicht auf die erforderliche Personalanzahl beschränkt sein, sondern auch die für eine Durchführung von Spezialistentätigkeiten erforderliche Qualifikation und Erfahrung berücksichtigen.

Sicherheitsempfehlung Nr. 19/2004

Das BAZL sollte sicherstellen, dass das Flugsicherungsunternehmen Wiederholungsschulungen und Ausbildung über Sicherheitsstandards übereinstimmend mit Eurocontrol ESARR 5 und angepasst an das operationelle Umfeld im Unternehmen entwickelt und einführt.

Die BFU hat am 19.05.2004 folgende Sicherheitsempfehlungen an die Zivilluftfahrtbehörde der Russischen Föderation herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 14/2004

Die Zivilluftfahrtbehörde der Russischen Föderation sollte sicherstellen, dass ACAS Training für Flugbesatzungen in Übereinstimmung mit den Forderungen und Richtlinien der Anlage B zum State Letter AN 11/19-2/82 erfolgt.

Die folgenden Aspekte sollte berücksichtigt werden:

- Für das Training von ACAS Manövern sollten Flugsimulatoren, die mit ACAS ausgerüstet sind oder interaktives Computer Based Training genutzt werden.
- ACAS Ereignis Szenarien sollten Bestandteil von Crew Resource Management (CRM) and Line Oriented Flight Training (LOFT) Programmen werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 21/2004

Die Zivilluftfahrtbehörde der Russischen Föderation sollte sicherstellen, dass die Anwendung von CRM Training in der Luftverkehrsbranche verbessert wird. Die Nutzung von Flugsimulatoren oder geeigneter synthetischer Trainingsgeräte für Line Orientated Flight Training (LOFT) sollte gefördert werden.

Die BFU hat am 19.05.2004 folgende Sicherheitsempfehlung an die Federal Aviation Administration (FAA) der Vereinigten Staaten von Amerika herausgegeben:

Sicherheitsempfehlung Nr. 15/2004

Die Federal Aviation Administration (FAA) sollte sicherstellen, dass der Hersteller von TCAS 2 000 das TCAS 2 000 Betriebshandbuch dahingehend überarbeitet, dass die Systemphilosophie und die internationalen ACAS/TCAS Regelwerke und Betriebsverfahren in unmissverständlicher und einheitlicher Weise wiedergegeben werden.

Braunschweig, den 19. Mai 2004

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
Im Auftrag

Schöneberg
Untersuchungsführer

An der Untersuchung haben folgende Mitarbeiter der BFU mitgewirkt:

Uwe Berndt	in der Arbeitsgruppe „Unfallstelle und Flugzeug Tupolew“
Jens Friedemann	Leiter der Arbeitsgruppen „Unfallstelle und Flugzeug Tupolew“
Hans-W. Hempelmann	in der Arbeitsgruppe „Flugschreiber“
Eberhard Krupper	Leiter der Arbeitsgruppe „Flugbetrieb“ (Operations)
Heinrich-H. Niebaum	Leiter der Arbeitsgruppen „Unfallstelle und Flugzeug Boeing“
Hans Peters	Leiter der Arbeitsgruppe „Flugsicherung“ (ATC)
Johann Reuß	Leiter der Arbeitsgruppe „TCAS“
Dieter Ritschel	Innerhalb der Arbeitsgruppe „Flugschreiber“ Stellvertreter des Leiter der Arbeitsgruppe „TCAS“
Karsten Severin	Leiter der Arbeitsgruppe „Menschliche Faktoren“
Frank Stahlkopf	in der Arbeitsgruppe „Unfallstelle und Flugzeug Boeing“
Axel Thiel	Leiter der Arbeitsgruppe „Flugschreiber“

5. Anlagen

- Anlage 1 Flugwegrekonstruktion anhand von Radardaten
- Anlage 2 Ereignisablauf in beiden Cockpits
- Anlage 3 Darstellung der Ereignisse (letzte Minute)
- Anlage 4 Flugschreiberdaten (Auszüge) der B757-200 (letzte Minute)
- Anlage 5 Flugschreiberdaten (Auszüge) der TU154M (letzte Minute)
- Anlage 6 TCAS- und FDR-Daten (Auszüge) der B757-200 und TU154M
- Anlage 7 Rekonstruktion des Zusammenstoßes
- Anlage 8 Verteilung der Hauptwrackteile
- Anlage 9 ACC Zürich Regelungen über SMOP
- Anlage 10 Veröffentlichung abweichender Stellungnahmen