

Untersuchungsbericht

Identifikation

Art des Ereignisses:	Unfall
Datum:	15. Februar 2013
Ort:	Berlin-Schönefeld
Luftfahrzeug:	Flugzeug
Hersteller / Muster:	Embraer / EMB-500
Personenschaden:	ohne Verletzte
Sachschaden:	Luftfahrzeug schwer beschädigt
Drittschaden:	Flugplatzanlagen
Aktenzeichen:	BFU CX001-13

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt und 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.

Herausgeber

Bundesstelle für
Flugunfalluntersuchung

Hermann-Blenk-Str. 16
38108 Braunschweig

Telefon 0 531 35 48 - 0
Telefax 0 531 35 48 - 246

Email: box@bfu-web.de
Internet: www.bfu-web.de

Inhalt	Seite
Identifikation	1
Abkürzungen	5
Kurzdarstellung	7
1. Sachverhalt	8
1.1 Ereignisse und Flugverlauf	8
1.2 Personenschaden	13
1.3 Schaden am Luftfahrzeug	13
1.4 Drittschaden	13
1.5 Angaben zu Personen	13
1.5.1 Verantwortlicher Pilot	13
1.5.2 Copilotin	14
1.6 Angaben zum Luftfahrzeug	14
1.6.1 Ice and Rain Protection System	15
1.6.2 Stall Warning and Protection System	16
1.6.3 Angaben im Airplane Flight Manual	18
1.6.4 Angaben im Quick Reference Handbook	19
1.6.5 Angaben im Pilot Operating Handbook	20
1.7 Meteorologische Informationen	20
1.7.1 Meteorologische Flugvorbereitung	20
1.7.2 Wetterbedingungen zur Zeit des Flugunfalls	21
1.7.3 Vereisung im Flug	22
1.8 Navigationshilfen	22
1.9 Funkverkehr	23
1.10 Angaben zum Flugplatz	23
1.11 Flugdatenaufzeichnung	23
1.11.1 Radardatenaufzeichnung	23
1.11.2 Flugdatenaufzeichnung an Bord	23
1.12 Unfallstelle und Feststellungen am Luftfahrzeug	24
1.13 Medizinische und pathologische Angaben	28
1.14 Brand	28
1.15 Überlebensaspekte	29
1.16 Versuche und Forschungsergebnisse	29
1.17 Organisationen und deren Verfahren	29
1.17.1 Luftfahrtunternehmen	29
1.17.2 Flugsicherung	30

1.18	Zusätzliche Informationen	31
1.18.1	Vereisungsschutzsysteme	31
1.18.2	Auswertung von Daten vorheriger Flüge mit dem Flugzeug	32
1.18.3	Ergebnis der Untersuchung eines vergleichbaren Flugunfalls	33
1.18.4	Anforderungen an die Qualifikation von EMB-500-Piloten	34
1.19	Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken	34
2.	Beurteilung	35
2.1	Unfallgeschehen/Allgemeines	35
2.2	Handlungen von Personen	35
2.3	Spezifische Bedingungen	38
2.4	Sicherheitsmechanismen	39
2.5	Organisatorische Aspekte	43
3.	Schlussfolgerungen	44
3.1	Befunde	44
3.2	Ursachen	45
4.	Sicherheitsempfehlungen	46
5.	Anlagen	47

Abkürzungen

AAL	Above Aerodrome Level
AFCS	Automatic Flight Control System
AFM	Airplane Flight Manual
AGL	Above Ground Level
AMSL	Above Mean Sea Level
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AOA	Angle of Attack
AOC	Air Operator Certificate
ATC	Air Traffic Control
ATIS	Automatic Terminal Information Service
BCAA	Belgian Civil Aviation Authority Directorat-General de l'Aviation Civile
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
CAS	Crew Alerting System
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CMC	Central Maintenance Computer
CVDR	Cockpit Voice Data Recorder
DWD	Deutscher Wetterdienst
FL	Flight Level
FMS	Flight Management System
hPa	Hektopascal
IAS	Indicated Air Speed
ILS	Instrumentenlandesystem
IMC	Instrument Meteorological Conditions
KIAS	Knots Indicated Air Speed
MLM	Maximum Landing Mass

MTOM	Maximum Take Off Mass
NM	Nautische Meile
NTSB	National Transportation Safety Board
OAT	Outside Air Temperature
OM	Operations Manual
PFD	Primary Flight Display
PIC	Pilot in Command
QRH	Quick Reference Handbook
SAT	Static Air Temperature
SOP	Standard Operating Procedures
SPA	Stick Pusher Actuator
SWPS	Stall Warning and Protection System
TAT	Total Air Temperature
V_{AC}	Approach Climb Speed
V_{FE}	Maximum Flap extended Speed
V_{FS}	Final Segment Speed
VMC	Visual Meteorological Conditions
V_{REF}	Landing Reference Speed

Kurzdarstellung

Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) wurde am 15.02.2013 um 09:12 Uhr¹ durch den Flughafen Berlin-Schönefeld darüber informiert, dass sich ein Flugunfall mit einem zweistrahligen Geschäftsreiseflugzeug Embraer EMB-500 ereignet hatte, bei dem das Flugzeug schwer beschädigt wurde. Die BFU entsandte unverzüglich ein dreiköpfiges Untersuchungsteam zur Unfallstelle. Die Untersuchungsbehörden Belgiens für den Eintragungs- und Halterstaat und Brasiliens für den Entwurfs- und Herstellerstaat wurden gemäß ICAO Annex 13 über den Unfall in Kenntnis gesetzt und unterstützten die Untersuchung der BFU.

Während des Endanfluges auf die Piste 07L des Flughafens Berlin-Schönefeld kippte das Flugzeug beim Abfangen über die Tragfläche ab, prallte auf den Boden und kam am rechten Rand der Landebahn zum Stillstand. Die beiden Piloten und der Fluggast blieben unverletzt.

Der Flugunfall ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die Besatzung führte den Anflug unter bekannten Vereisungsbedingungen durch und schaltete dabei, entgegen der Standard Operating Procedures (SOP), das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht ein.
- Das Flugzeug geriet aufgrund von Eisansatz an Tragflächen und Leitwerk und Unterschreiten der für Vereisungsbedingungen vorgeschriebenen Anfluggeschwindigkeit beim Abfangen in den überzogenen Flugzustand und kippte ab.

Beitragender Faktor:

- Die Besatzung verfügte über unzureichende Kenntnisse hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem Ice Protection System und dem Stall Warning Protection System (SWPS).

Im Ergebnis der Untersuchung hat die BFU insgesamt vier Sicherheitsempfehlungen herausgegeben. Die Sicherheitsempfehlungen richten sich an die belgische, die brasilianische und die europäische Luftfahrtbehörde sowie an die Deutsche Flugsicherung.

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

1. Sachverhalt

1.1 Ereignisse und Flugverlauf

Das Flugzeug war um 07:38 Uhr am Flughafen Kortrijk-Wevelgem (Belgien) zu einem kommerziellen Flug nach Berlin-Schönefeld gestartet. An Bord befanden sich der verantwortliche Luftfahrzeugführer (PIC), die Copilotin und ein Fluggast. Die Copilotin war auf dem Flug Pilot Flying.

Aus den Aufzeichnungen des Cockpit Voice Data Recorders (CVDR) ging hervor, dass die Piloten vor dem Anlassen der Triebwerke entsprechend der Verfahren unter anderem das Stall Warning and Protection System des Flugzeuges überprüft und dabei dessen einwandfreie Funktion festgestellt hatten.

Laut Aufzeichnungen des CVDR wurde vier Minuten nach dem Start um 07:42 Uhr, während das Flugzeug Flugfläche (FL) 70 durchstieg, für 46 Sekunden bei beiden Triebwerken das Engine Anti-Ice System eingeschaltet. Vierzig Sekunden später wurde der Autopilot aktiviert. Gegen 08:13 Uhr erreichte das Flugzeug FL390. Die aufgezeichneten Gespräche der Piloten zeigten, dass diese ab etwa 08:23 Uhr mehrfach versuchten, auf der entsprechenden Funkfrequenz die ATIS des Zielflughafens zu empfangen. Bis zum Verlassen der Reiseflughöhe um 08:33 Uhr, etwa 140 NM vom Zielflughafen entfernt, gelang dies den Piloten nicht. Zwei Minuten nach Beginn des Sinkfluges erklärte der PIC der Copilotin, dass er aufgrund des beobachteten Verkehrs davon ausgehen würde, dass am Zielflughafen voraussichtlich die Piste 25R anzufliegen sei. Etwa fünf Minuten später erhielt die Besatzung über Funk die Freigabe für das Anflugverfahren RUDAK 5S der Piste 07L. Daraufhin begann die Besatzung, das Navigationssystem für den Landeanflug vorzubereiten. Gegen 08:42 Uhr, in einer Entfernung von 76 NM vom Zielflughafen, begann der PIC, die ATIS abzuhören, wurde dabei aber durch Sinkfluganweisungen sowie die Aufforderung zum Frequenzwechsel unterbrochen. Um 08:43:36 Uhr nach dem Frequenzwechsel zu Bremen Radar sagte die Lotsin: „[...], Bremen identified. Hello, proceed direct twelve miles final for runway zero seven left Schönefeld.“

Während das Flugzeug im Sinkflug FL200 passierte fragte die Copilotin: „Descent checklist?“ worauf der PIC sie bat, zu warten und danach die ATIS Information Z abhörte und notierte. Darin wurde bezüglich der Wetterbedingungen unter anderem die Information erteilt „[...] moderate icing reported below 3 000 feet [...]“. In dem Operational Flight Plan waren unter anderem handschriftlich die Wetterdaten der ATIS-Meldung Z und für den Landeanflug eine Final Segment Speed v_{FS} von 130 kt

sowie eine Landing Reference Speed v_{REF} von 96 kt eingetragen. Laut CVDR Aufzeichnung betrug die Outside Air Temperature (OAT) zu diesem Zeitpunkt etwa -18°C . Der PIC informierte anschließend die Copilotin über den Bedeckungsgrad und die Wolkenuntergrenze von 1 400 ft, die Sichtweite von 4 800 m im feuchten Dunst und den Luftdruck QNH von 1 018 hPa. Ab 08:47 Uhr führten die Piloten ein zweiminütiges Approach Briefing durch. Dabei wurden Details des Anflug- und des Fehlanflugverfahrens besprochen.

Um 08:50:12 Uhr, während das Flugzeug im Sinkflug FL97 passierte, fragte die Copilotin erneut: „Descent checklist?“ Der PIC antwortete „stand by“. Etwa eine halbe Minute später sprach die Lotsin die Besatzung an: „[...] descend altitude four thousand feet on QNH one zero one eight.“ Dies wurde bestätigt. Anschließend gingen die Piloten die Checkliste durch. Der PIC sagte: „Landing speeds?“ worauf die Copilotin reagierte mit den Worten „Set by me.“ Auf die Frage des PIC: „Icing conditions?“ antwortete die Copilotin: „Negative, no visible moisture.“

Um 08:51:12 Uhr ergänzte der PIC: „below ten thousand, de signs gaan aan en temperature is no negative. Ik ga nog wat wachten [...] voor de anti-ice (unter zehntausend, Zeichen sind an, und die Temperatur ist nicht negativ [...] ich warte noch etwas mit dem Anti-Ice)“. Der CVDR zeichnete zu dieser Zeit eine OAT von -1°C auf.

Um 08:53 58 Uhr wurden die Landeklappen in Stellung eins ausgefahren.

Um 08:54:11 Uhr wies die Lotsin einen Steuerkurs von 050° an und erteilte der Besatzung die Freigaben auf 3 000 ft AMSL zu sinken und zum ILS Yankee Anflug der Piste 07L zu fliegen. Der PIC forderte die Copilotin auf, die Geschwindigkeit hoch zu halten mit den Worten: „hou wel nog wat speed want ATC gaat dat niet graag zien als ge alles gaat ophouden achter ons he (halte etwas Geschwindigkeit, weil ATC es nicht mögen wird, wenn du alles hinter uns verlangsamt)“.

Laut Radardaten kurvte das Flugzeug in einer Entfernung von ca. 13 NM von der Schwelle um 08:55 Uhr in einer Höhe von 3 000 ft AMSL auf die Anfluggrundlinie der Piste 07L ein. Die Lotsin sprach die Besatzung an: „[...] maintain speed a hundred and seventy knots or greater to four miles final“ und der PIC antwortete: „Actually we have a hundred and seventy-five Madam, and we will maintain it until four miles final“. Daraufhin sagte der PIC zur Copilotin: „zie je, ze hebben dat niet graag he, ge houdt alles op achter ons he (siehst du, die mögen das nicht, dass du alle hinter uns aufhältst)“. Nachdem der PIC sagte: „ik ga er 175 inzetten als je het goed vindt (ich

stelle 175 ein wenn du einverstanden bist)" und die Copilotin dies bejahte stellte der PIC am Automatic Flight Control System (AFCS) die Geschwindigkeit von 175 kt ein.

Der PIC sagte um 08:55:32 Uhr "ja, de motoren er bij want het is negatief terug ze hadden het gezegd he, moderate icing below three thousand (ja, ich schalte die Motoren zu weil es wieder negativ ist, sie haben gesagt, mäßige Vereisung unterhalb dreitausend)" und schaltete das Engine Anti-Ice System beider Triebwerke ein. Die OAT betrug laut CVDR etwa -1,5 °C. Die Einstellung der Geschwindigkeit an der AFCS Control Unit wurde auf 170 KIAS reduziert. Zu dieser Zeit flog das Luftfahrzeug in 3 000 ft AMSL horizontal im Bereich der Obergrenze der Bewölkung. Um 08:57:05 Uhr sagte die Copilotin: „on the glide, gear down“, anschließend wurde das Fahrwerk ausgefahren, das Flugzeug ging in den Sinkflug über und flog in die Wolken ein.

Um 08:57:25 Uhr sagte die Lotsin: "[...] wind one zero zero degrees four knots, now zero niner zero degrees seven knots, runway zero seven left, cleared to land. Vacate the runway to the right." Der PIC antwortete: "Cleared to land and we will vacate to the right [...]."

Um 08:57:41 Uhr, als sich das Flugzeug in einer Höhe von ca. 2 250 ft AMSL befand, fragte die Copilotin: "mag ik naar 130 gaan (Kann ich auf 130 gehen)?" Der PIC antwortete: „nog niet he, tot 4 mijl [...] we zitten nog niet op 4 mijl he, we zitten nog op 6,3. Ge moet uw 170 houden tot 4 mijl. Ge hebt daar tijd genoeg om uw flaps naar buiten. Geen probleem (noch nicht, bis 4 Meilen, wir sind noch nicht bei 4 Meilen, wir sind noch bei 6,3. Du musst bei 170 bleiben bis 4 Meilen. Du hast dann noch genug Zeit, die Landeklappen auszufahren. Kein Problem)".² Der PIC begann anschließend die Approach Checkliste mit den Punkten External Lights, Fuel Crossfeed und Altimeter Setting abzuarbeiten. Beim Prüfpunkt „icing conditions?“ sagte der PIC „[...] dat staat hier nog aan) (das ist noch an)“.

Laut Radardaten war das Flugzeug ca. 4 NM von der Landebahnschwelle entfernt, als der PIC die Copilotin um 08:58:30 Uhr ansprach: „okay, begin nu dan maar stillekes te reduceren (okay, du kannst jetzt anfangen, zu reduzieren). Laut CVDR Daten passierte das Luftfahrzeug zu diesem Zeitpunkt eine Höhe von 1 470 ft AAL und begann die Fluggeschwindigkeit zu verringern. Fünf Sekunden später ergänzte der PIC: "slightly ground contact".

² Im Zeitraum von 08:53 Uhr bis 08:58 Uhr hat der PIC die Copilotin laut CVDR insgesamt 9 Mal aufgefordert, die Geschwindigkeit hoch zu halten.

Die Copilotin sagte kurz darauf um 08:58:44 Uhr „Ahm, four nautical miles, flaps two“. Die Geschwindigkeit betrug 163 KIAS. Der PIC bestätigte die Anweisung und fuhr die Landeklappen in Stellung zwei. Elf Sekunden danach sagte die Copilotin: „Autopilot disconnect“. Der Autopilot wurde deaktiviert und nachdem der PIC sagte: „Okay, dat mag af, visual runway, alles mag af (Okay, das kann ausgeschaltet werden, Runway in Sicht, alles kann ausgeschaltet werden)“ wurden die Engine Anti-Ice Systeme 1 und 2 sowie die Windshield Anti-Ice Systeme 1 und 2 abgeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Flugzeug in einer Höhe von ca. 1 000 ft AAL, und flog mit einer Geschwindigkeit von 151 KIAS.

Die Copilotin bat um 08:59:13 Uhr den PIC mit der Bemerkung: „will je hem op four F zetten alsjeblief (Kannst du es auf 4F setzen bitte)?“ darum, die Landeklappen voll auszufahren. Laut CVDR betrug die Höhe zu diesem Zeitpunkt etwa 800 ft AAL. Gleichzeitig stellte die Copilotin am AFCS den Geschwindigkeitswert 96 KIAS ein. Laut CVDR befanden sich die Landeklappen ab 08:59:29 Uhr in voll ausgefahrener Stellung, die Höhe lag bei ca. 640 ft AAL, die sich weiter reduzierende Fluggeschwindigkeit betrug 121 KIAS. Fünfzehn Sekunden später, um 08:59:44 Uhr, zeichnete der CVDR die synthetische Ansage „FIVE HUNDRED“ auf. Die Geschwindigkeit des Luftfahrzeuges betrug dabei ca. 114 KIAS und blieb für die darauffolgenden 30 Sekunden annähernd bei diesem Wert. Der PIC sagte: „landing checklist voor de zekerheid, de yaw damper is [...], gear down three greens, flaps are full, landing clearance update“ und funkte anschließend die Lotsin an: “[...] just to confirm cleared to land?“ Während dieses Funkspruchs, in einer Flughöhe von ca. 250 ft AAL, begann sich die Geschwindigkeit des Flugzeuges erneut zu verringern.

Unmittelbar nachdem um 09:00:17 Uhr die synthetische Ansage „MINIMUMS, MINIMUMS“ ertönte, funkte der PIC die Lotsin erneut an: “[...] just to confirm cleared to land?“ Dies wurde bestätigt, während das Flugzeug gerade mit einer Geschwindigkeit von 106 KIAS die Höhe von 162 ft AAL passierte.

Gegen 09:00:24 Uhr, bei einer Geschwindigkeit von 102 KIAS, hatte der Längsneigungswinkel (pitch attitude) den Wert von 0° überschritten und stieg kontinuierlich weiter an. Die aufgezeichnete Glideslope Deviation zeigte, dass das Flugzeug in dieser Phase begann den ILS-Gleitpfad nach unten zu verlassen. Die Geschwindigkeit verringerte sich während der nachfolgenden neun Sekunden auf etwa 90 KIAS, während sich der Längsneigungswinkel auf ca. +6° und der aufgezeichnete Anstellwinkel (AOA) am linken Sensor auf 17,2° bzw. auf 15,8° am

rechten Sensor vergrößerten. Zu diesem Zeitpunkt, um 09:00:33 Uhr, in einer Höhe von etwa 30 ft AAL, begann das Flugzeug um die Längsachse nach links zu rollen und erreichte innerhalb von zwei Sekunden eine Querneigung von 30°. Zeitgleich mit dem Beginn der Drehung um die Längsachse verringerte sich die Normalbeschleunigung von etwa 1 g auf ca. 0,8 g. Der CVDR zeichnete mit Beginn der Rollbewegung den Ausruf „Oh, Oh“ beider Piloten und zwei Sekunden später Aufprallgeräusche auf. Damit endete die Aufzeichnung des CVDR.

Die Piloten gaben an, dass während des Abfangens des Flugzeuges über der Landebahnschwelle, plötzlich die linke Tragfläche nach unten gesackt sei und die Piste berührt habe. Anschließend sei das Flugzeug um die Längsachse nach rechts gerollt und mit dem rechten Hauptfahrwerk hart aufgekommen. Das Fahrwerk brach und das Luftfahrzeug rutschte entlang der Piste in Richtung des rechten Pistenrandes und kam dort zum Stillstand.

Nach Aussage des PIC befand sich das Flugzeug zu Beginn des ILS-Anfluges in 3 000 ft AMSL oberhalb der Wolken. Er habe dann im Sinkflug, als das Flugzeug von oben in die Wolken einflog, das Engine Anti-Ice System und das Windshield Anti-Ice System eingeschaltet. Als das Flugzeug sich dann unterhalb der Wolken befand, habe er das für ihn sichtbare äußere Drittel der linken Tragfläche visuell überprüft. Er habe zu diesem Zeitpunkt keinen Eisansatz gesehen. Daraufhin habe er Engine Anti-Ice und Windshield Anti-Ice ausgeschaltet. Als das Flugzeug aus den Wolken gekommen sei, habe er der Copilotin mitgeteilt, dass er Erdsicht habe. Als Begründung dafür, dass er das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht aktiviert hatte gab der PIC an, dass er keinen Eisansatz gesehen habe und erläuterte weiter, dass eine Aktivierung des Systems zu deutlichen Einschränkungen der Performance des Flugzeuges führen würde und es Diskussionen unter Piloten gäbe, wonach das System nur bei einem Eisansatz von mindestens 0,25 inch aktiviert werden sollte.

1.2 Personenschaden

Verletzte	Besatzung	Passagiere	Außenstehende
Tödlich			--
Schwer			--
Leicht/Ohne	2	1	

1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Das Flugzeug wurde schwer beschädigt.

1.4 Drittschaden

Durch den Aufprall des Flugzeuges entstanden Schäden an dem Belag der Start- und Landebahn und der Pistenbefeuernng.

1.5 Angaben zu Personen

1.5.1 Verantwortlicher Pilot

Der 48-jährige Pilot war im Besitz einer Lizenz für Berufspiloten (CPL(A)), erstmalig ausgestellt am 15.02.2000 durch die belgische Luftfahrtbehörde, gültig bis zum 20.10.2013. In seiner Lizenz waren die Berechtigungen SEP (land), gültig bis zum 30.06.2014, BE90/99/100/200, gültig bis zum 31.08.2013, EMB-500, gültig bis zum 30.06.2013, IR(A) gültig bis zum 30.06.2013, CRI(A) gültig bis zum 31.01.2016 und FI(A), gültig bis zum 31.12.2013 eingetragen.

Sein medizinisches Tauglichkeitszeugnis Klasse 1 war am 19.10.2012 ausgestellt und bis zum 13.11.2013 gültig. Als Einschränkung war VNL, d.h. Korrektur der Sehschärfe ausschließlich für die Nähe, eingetragen.

Die Gesamtflugerfahrung des Piloten betrug ca. 4 500 Stunden, davon 800 Stunden auf dem Muster. Der Pilot gab gegenüber der BFU an, dass er etwa 400 Landungen auf dem Muster absolviert habe, davon 30 innerhalb der letzten 90 Tage.

Vor Dienstantritt hatte er mehr als 36 Stunden dienstfrei.

1.5.2 Copilotin

Die 22-jährige Copilotin besaß eine Lizenz für Berufspiloten (CPL(A)) erstmalig ausgestellt am 12.08.2011 durch die belgische Luftfahrtbehörde, gültig bis zum 12.08.2016, mit den Berechtigungen MEP (land), gültig bis zum 31.05.2013 und EMB-500, gültig bis zum 30.11.2013 sowie IR(A), gültig bis zum 30.11.2013.

Das medizinische Tauglichkeitszeugnis Klasse 1 der Pilotin war am 27.04.2012 ausgestellt und bis zum 11.05.2013 gültig. Als Einschränkung war VDL, d.h. Korrektur der Sehschärfe ausschließlich für die Ferne, eingetragen.

Sie hatte nach eigenen Angaben eine Gesamtflugerfahrung von ca. 260 Stunden, davon 32 Stunden auf dem Muster. Innerhalb der letzten 90 Tage vor dem Unfall hatte sie 22 Flüge durchgeführt. In den letzten 30 Tagen war die Pilotin 29 Stunden geflogen. Auf dem Muster hatte sie etwa 20 Landungen absolviert, alle innerhalb der letzten 90 Tage.

Die letzte Befähigungsüberprüfung im Simulator hatte die Pilotin im Rahmen des Trainingskurses zum Erwerb der Musterberechtigung am 03.11.2012.

Vor Dienstantritt hatte die Pilotin mehr als 14 Tage dienstfrei.

1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

Das Flugzeug vom Muster EMB-500 ist ein zweistrahliger, sechssitziger Tiefdecker in Metallbauweise mit T-Leitwerk. Das Luftfahrzeugmuster war nach FAR und CS 23 für den Betrieb mit einer Mindestbesatzung von einem Piloten zugelassen.

Das Flugzeug war in Belgien zum Verkehr zugelassen und wurde von einem belgischen Geschäftsflugunternehmen betrieben.

Hersteller:	Embraer
Muster:	EMB-500
Werknummer:	50000196
MTOM:	4 750 kg
MLM:	4 430 kg
Triebwerke:	Pratt & Whitney Canada PW617F-E

Laut CVDR betrug die Masse des Luftfahrzeuges zum Zeitpunkt des Flugunfalls 4 190 kg.

Das Flugzeug hatte eine Gesamtbetriebszeit von ca. 562 Stunden bei 534 Landungen.

Es wurde laut *Aircraft Maintenance Release to Service* zuletzt am 14.02.2013 einer 600-Stunden-Wartungskontrolle unterzogen.

1.6.1 Ice and Rain Protection System

Das Flugzeug verfügte zum Schutz vor Vereisung über ein thermisches Engine Anti-Ice System für die Triebwerkseinläufe sowie ein pneumatisches Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System für die Vorderkanten der Tragflächen und der Höhenleitwerksflosse in Form aufblasbarer gewebeverstärkter Gummimatten (De-Ice Boots). Die De-Ice Boots an Tragflächen und Höhenleitwerk hatten entlang der Spannweite (spanwise) verlaufende aufblasbare Zellen und waren von silbergrauer Farbe.

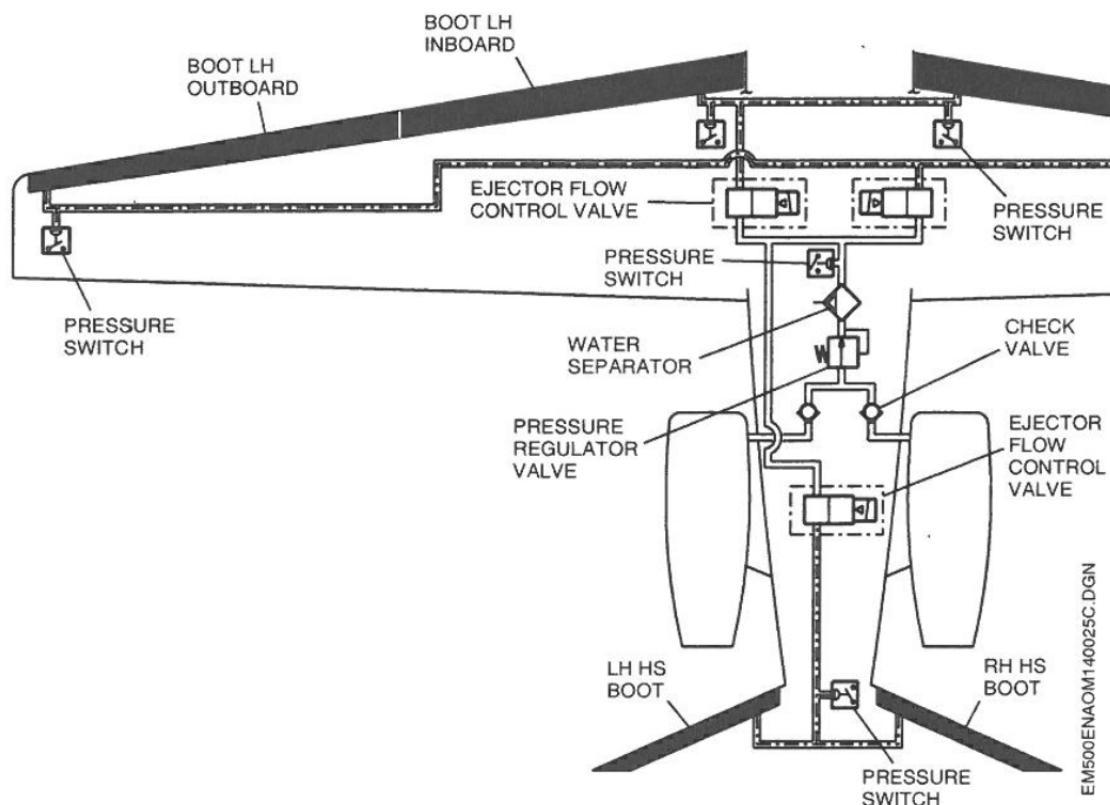


Abb. 1: Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System

Quelle: Embraer

Außerdem hatte es ein elektrisches Frontscheiben- und Air Data Heating System (Pitot-, Static Port- und AOA Vane-Heizung). Das Bedienpanel für die Systeme befindet sich im Cockpit rechts neben dem linken Steuerhorn.

Links unten auf dem Primary Flight Display (PFD) wird den Piloten die Temperatur als Total Air Temperature (TAT) bzw. Static Air Temperature (SAT) angezeigt.



Abb. 2: Bedienpanel Ice Protection/Heating

Quelle: BFU

1.6.2 Stall Warning and Protection System

Das Flugzeug verfügte über ein Stall Warning and Protection System (SWPS), welches in Abhängigkeit von Anstellwinkel und Machzahl rechtzeitig vor dem Erreichen eines zu großen Anstellwinkels warnen und - wenn erforderlich - den Anstellwinkel aktiv verringern soll. Das SWPS sollte damit der Stärkung des Situationsbewusstseins der Piloten dienen und außerdem aktiv dabei helfen, ein Überziehen des Flugzeuges zu verhindern. Die Hauptbestandteile sind der SWPS-Computer, zwei AOA-Sensoren und der Stick Pusher Actuator.

Zur Warnung der Piloten wird ein akustisches „STALL“ generiert. Die Anzeige des gelben und roten Bereichs auf dem Geschwindigkeitsanzeigeband des Primary Flight Displays (PFD) dient der Low Speed Awareness.

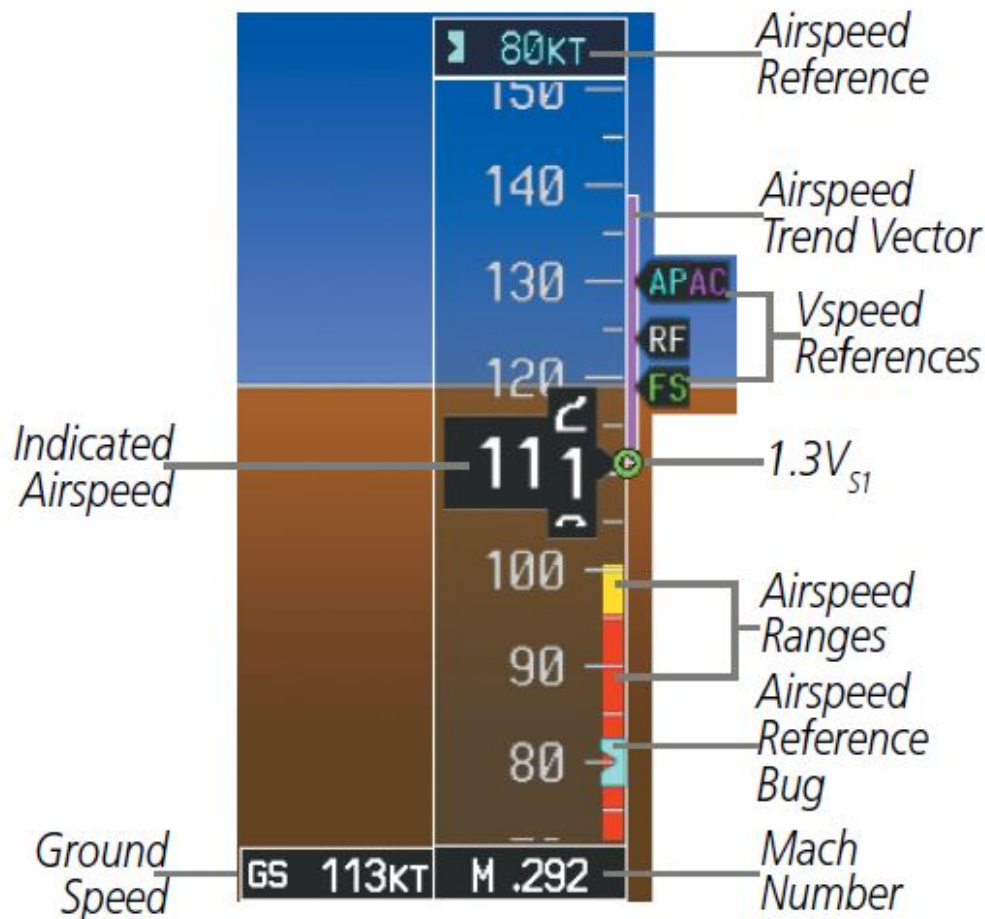


Abb. 3: Geschwindigkeitsanzeigeband

Quelle: Garmin

Das obere Ende des roten Bereichs entspricht dabei der Geschwindigkeit, die in der jeweiligen Konfiguration des Flugzeuges mit dem Anstellwinkel für die akustische Überziehwarnung korrespondiert.

Das SWPS kann, zusätzlich zu der Warnung, über einen Stick Pusher Actuator (SPA) aktiv in die Höhensteuerung eingreifen, um den Anstellwinkel (AOA) des Flugzeuges zu verringern.

Nach Angaben des Flugzeugherstellers wird für die Konfiguration Fahrwerk ausgefahren, Landeklappen voll ausgefahren (4F), bei ausgeschalteter Ice Protection und einem AOA von 21,0° die Warnmeldung „STALL“ ausgegeben und bei Erreichen

von 28,4° der Stick Pusher Actuator aktiviert. Bei der gleichen Konfiguration des Flugzeuges und eingeschaltetem Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System beträgt der Wert für die Warnmeldung 9,5° bzw. 15,5° für den Stick Pusher. Dabei ist der Anstellwinkel der Mittelwert aus den gemessenen Werten beider AOA-Sensoren unter Berücksichtigung der Rate der Anstellwinkeländerung.

Das SWPS musste gemäß AFM vor Beginn eines jeden Fluges durch die Piloten überprüft werden. Dazu waren das Steuerhorn gezogen und der Stall Protection Druckschalter am rechten Instrumentenbrett gedrückt zu halten, bis die akustische Warnung „STALL, STALL“ dreimal ertönte und sich der Stick Pusher aktivierte.

1.6.3 Angaben im Airplane Flight Manual

Im Flugzeug wurde das durch die brasilianische Luftfahrtbehörde Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) genehmigte Airplane Flight Manual (AFM) in der Ausgabe vom 03.07.2009 mit dem Revisionsstand 5 mitgeführt.

Im AFM Section 2 *Limitations* waren unter anderem die höchstzulässigen Geschwindigkeiten für die verschiedenen Landeklappenstellungen aufgeführt.

Maximum Flap extended speed (V_{FE})

Flaps 1 *200 KIAS*

Flaps 2 *160 KIAS*

Flaps 3 *160 KIAS*

Flaps FULL *145 KIAS*

Maximum Landing Gear Operation Speed *180 KIAS*

Maximum Landing Gear Extended Speed *275 KIAS*

Unter der Überschrift *Operation in Icing Conditions* war festgelegt:

Crew must activate the ice protection system when icing conditions exist or are anticipated as follows:

If SAT (TAT in flight) is between 5 °C and 10 °C with visible moisture:

ENG1 and ENG2 switches *ON*

WINGSTAB switch *OFF*

WSHLD1 and WSHLD2 *OFF*

At the first sign of ice formation or if SAT (TAT in flight) is below 5 °C with visible moisture:

WSHLD1 and WSHLD2 *ON*

ENG1 and ENG2 switches *ON*

WINGSTAB switch *ON*

Die Bezeichnung “visible moisture in any form” wurde beschrieben mit Wolken, Nebel mit Sichtweiten von einer Meile oder weniger, Regen, Schnee, Graupel oder Eiskristallen.

Die Minimum Control Airspeed (V_{MC}) für die Landung unter Vereisungsbedingungen war im AFM Section 2 mit 97 KIAS angegeben.

Im AFM Section 3 *Normal Procedures Operation in Icing Conditions* war als Mindestgeschwindigkeit für den Landeanflug festgelegt:



Abb. 4: AFM - Normal Procedures - Operation in Icing Conditions

Quelle: Embraer

1.6.4 Angaben im Quick Reference Handbook

Für die Landung mit *WINGSTAB OFF* und *ENGINE ICE PROTECTION OFF/ON*, *ZERO SLOPE*, *NO WIND*, *FLAPS FULL* für eine Flugmasse von 4 200 kg waren folgende Geschwindigkeiten vorgeschrieben:

V_{REF} 98 KIAS

V_{AC} 103 KIAS

V_{FS} 122 KIAS

Für die Landung mit *WINGSTAB ON* und *ENGINE ICE PROTECTION ON, ZERO SLOPE, NO WIND, FLAPS FULL* für eine Flugmasse von 4 200 kg waren folgende Geschwindigkeiten vorgeschrieben:

V_{REF} 121 KIAS

V_{AC} 121 KIAS

V_{FS} 140 KIAS

1.6.5 Angaben im Pilot Operating Handbook

Das Pilot Operating Handbook (POH) enthielt allgemeine Empfehlungen des Flugzeugherstellers, unter anderem für die Durchführung eines ILS-Anfluges.

Es wurde empfohlen, den Sinkflug zunächst mit 170 KIAS und eingefahrenen Landeklappen durchzuführen. Dabei sollte die Approach Checkliste abgearbeitet werden. Bei einer Entfernung von etwa 15 NM von der Landebahnschwelle sollten dann die Landeklappen in Stellung 1 gesetzt und die Geschwindigkeit auf 150 KIAS verringert werden. Sobald die Gleitweganzeige „alive“ war, sollten das Fahrwerk ausgefahren, die Geschwindigkeit auf 130 KIAS reduziert und die Landeklappen auf Stellung 2 gesetzt werden. Bei Erreichen des Glideslopes (1 Dot) sollten die Landeklappen in die Landestellung gefahren und die Geschwindigkeit auf V_{REF} verringert werden. Bei Überfliegen des Outer Markers sollten Höhe und Kurs für einen Go-Around im AFCS eingegeben, der Anflug mit V_{REF} durchgeführt und die BEFORE LANDING Checkliste abgearbeitet werden.

1.7 Meteorologische Informationen

1.7.1 Meteorologische Flugvorbereitung

Der BFU lag ein sogenanntes Crew Briefing Information Package vor. Dieses war von einer vom Luftfahrzeughalter mit der Flugplanung betrauten Firma erstellt worden und enthielt die Dokumentation für die Flugvorbereitung der Besatzung einschließlich der Wetterdaten. Dazu gehörten die Wind/Temperature Prognostic Chart für FL390, die Vertical Cross Section Chart für die Flugstrecke sowie die Significant Weather Prognostic Chart. Für den Zielflughafen Berlin-Schönefeld enthielt das Package die METAR Meldung von 05:00 UTC und die Vorhersage von 05:00 UTC.

1.7.2 Wetterbedingungen zur Zeit des Flugunfalls

Der Flugunfall ereignete sich bei Tageslicht.

Laut Routinewettermeldung (METAR) von 07:50 UTC herrschten am Flughafen Berlin-Schönefeld folgende Wetterbedingungen:

Wind: 090° / 7 kt
 Sicht: 4 800 m, feuchter Dunst
 Bewölkung: 5-7 Achtel in 1 400 ft AAL
 Temperatur: 0 °C
 Taupunkt: -2 °C
 Luftdruck (QNH): 1 018 hPa

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit 86,4% angegeben.

Nach Auskunft des Deutschen Wetterdienstes lagen keine Wetterwarnungen und kein SIGMET vor. Die vorhandene, geschlossene Stratusbewölkung sei unterkühlt und damit „eisträchtig“ gewesen.

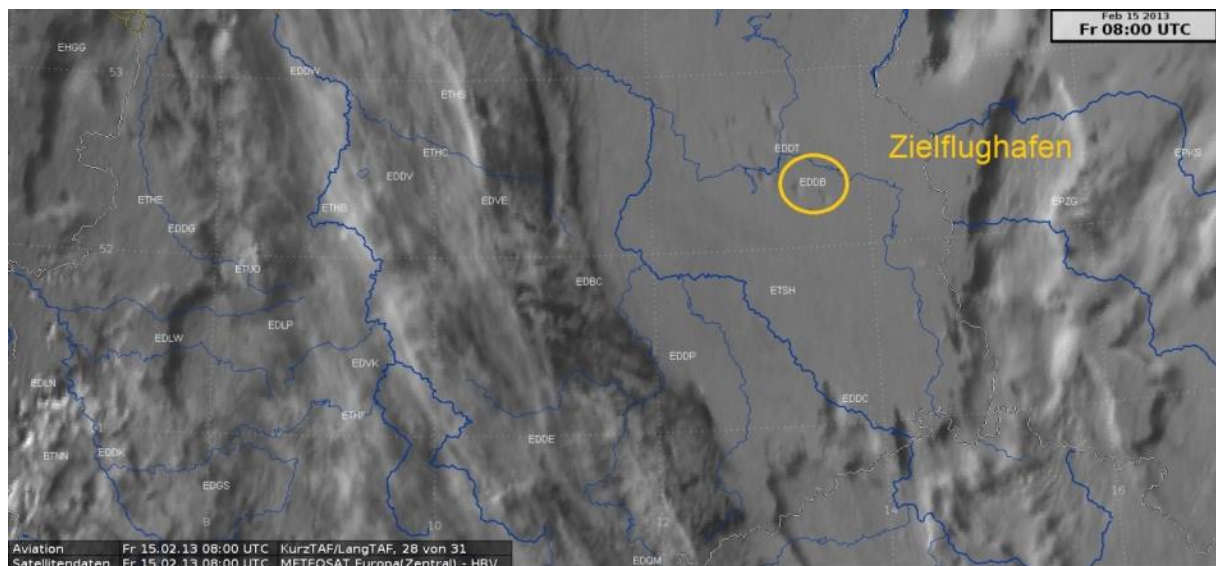


Abb. 5: Satellitenbild vom Unfalltag um 08:00 UTC

Quelle: Deutscher Wetterdienst

In der Gebietswettervorhersage (GAMET) wurde mäßige Vereisung unterhalb von FL60 vorhergesagt. Auch die Low Level Significant Chart sagte mäßige Vereisung vorher, sogar lokal bis FL160.

1.7.3 Vereisung im Flug

Eine Vereisung der Luftfahrzeugstruktur kann sich, in Abhängigkeit von Temperatur und Größe, der in der Luft befindlichen Wassertröpfchen, in unterschiedlicher Weise zeigen. Während große, unterkühlte Wassertröpfchen bei der Kollision mit der Luftfahrzeugstruktur nicht sofort komplett gefrieren sondern sich noch flüssig verteilen und dann in Form von Klareis gefrieren, führt das Vorhandensein kleiner, unterkühlter Wassertröpfchen beim Auftreffen auf die kalte Flugzeugstruktur unmittelbar zu Raueis. Bei Raueis handelt es sich um Eisteilchen mit eingeschlossener Luft und milchig weißem Aussehen. Bezogen auf das Profil einer Tragfläche beginnt der Raueisansatz im Bereich des Staupunktes. Es gibt zudem eine Mischform aus Klar- und Raueis.



Abb. 6: Detailaufnahme der Form des Eisansatzes an der Vorderkante der Tragfläche

Quelle: Luftaufsicht

1.8 Navigationshilfen

Nicht betroffen.

1.9 Funkverkehr

Der in englischer Sprache geführte Funkverkehr wurde durch das Flugsicherungsunternehmen aufgezeichnet und stand der BFU zur Auswertung zur Verfügung.

1.10 Angaben zum Flugplatz

Der Flughafen Berlin-Schönefeld verfügte über eine Start- und Landebahn mit der Ausrichtung 069°/249°. Die asphaltierte Piste mit der Bezeichnung 07L/25R war 3 600 m lang und 45 m breit.

Zur Zeit des Unfalls war die Piste 07L in Betrieb. Die Schwelle der Piste 07L liegt in einer Höhe von 146 ft AMSL. Die verfügbare Landestrecke (LDA) war mit 3 300 m angegeben.

Im Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP) war die Reichweite (designated operational coverage) der ATIS-Frequenz mit 60 NM in FL200 angegeben.

1.11 Flugdatenaufzeichnung

1.11.1 Radardatenaufzeichnung

Der Flugweg des Luftfahrzeuges wurde von den Radaranlagen des Flugsicherungsunternehmens aufgezeichnet und stand der BFU als Plot zur Auswertung zur Verfügung.

Zusätzlich standen der BFU die Aufzeichnungen des Surface Movement Radars am Flughafen Berlin-Schönefeld zur Verfügung.

1.11.2 Flugdatenaufzeichnung an Bord

Gemäß luftrechtlicher Regularien war eine Ausrüstung des Flugzeuges mit FDR oder CVR nicht vorgeschrieben. Das Flugzeug war jedoch zur Aufzeichnung von Flugparametern sowie der Gespräche und Geräusche im Cockpit mit einem Cockpit Voice Data Recorder (CVDR) ausgerüstet. Das Gerät wurde sichergestellt und bei der BFU ausgelesen.

Hersteller: L3 Communications

Typ: FA2100

Der CVDR hatte 530 Parameter und 120 Minuten Audiodaten aufgezeichnet.

Die Konversation der Piloten erfolgte in englischer bzw. in niederländischer Sprache. Eine Umschrift und Übersetzung der Sprachaufzeichnung wurde bei der BFU durch einen Vertreter der belgischen Flugunfalluntersuchungsbehörde erstellt.

Nach Angaben des Flugzeugherstellers war die beim Unfallflug aufgezeichnete Differenz zwischen den Messwerten des linken und des rechten AOA-Sensors von bis zu $3,4^\circ$ im Wesentlichen auf aerodynamische Effekte, wie z.B. einen Schiebeflug, zurückzuführen. Laut Flugzeughersteller sei dies jedoch normal und führte nicht zu einer Beeinflussung anderer Flugzeugsysteme.

Das Flugzeug war mit einem CVDR Impact Switch ausgerüstet, der bei Überschreiten bestimmter Beschleunigungswerte die Aufzeichnung abbricht, um ein Überschreiben von Daten eines Unfalls zu vermeiden. Der Impact Switch hatte bei dem Aufprall ausgelöst.

1.12 Unfallstelle und Feststellungen am Luftfahrzeug

Die Spuren auf dem Asphalt der Piste 07L und an der linken Tragfläche des Luftfahrzeugs zeigten, dass das Flugzeug ca. 7 m vor der, mit einem weißen Querstreifen markierten, versetzten Schwelle und ca. 4 m links von der Mittellinie mit der linken Tragflächenspitze zuerst den Boden berührt hatte. Etwa 4 m hinter der Landebahnschwelle wurde Gummiabrieb vom Bugfahrwerksrad und weitere 6 m entfernt vom rechten Hauptfahrwerksrad gefunden.

Das Flugzeug war 447 m von der Landebahnschwelle entfernt außerhalb des markierten, rechten Seitenrandes, aber noch auf der asphaltierten Fläche, zum Stillstand gekommen.



Abb. 7: Übersicht Unfallstelle, Blickrichtung nordöstlich

Quelle: Polizei/BFU

Die äußere linke Tragfläche war etwa 2 m von dem Tragflächenende entfernt um etwa 10° nach oben gebogen. Die Unterseite der Tragfläche, das linke Querruder und das äußere hintere Ende der linken Landeklappe wiesen Kratzspuren und Verformungen auf.

Die rechte Landeklappe war verformt. Das rechte Hauptfahrwerk war gebrochen und nach hinten geklappt. Fahrwerksteile waren durch die Oberseite der Tragfläche gedrungen. Der Reifen des rechten Hauptfahrwerks war zerstört. Etwa zwanzig Prozent der Felge und Teile der Landeklappenführungsschiene waren abgeschliffen.

Durch die einige Minuten nach dem Unfall eingetroffenen Vertreter der Luftaufsicht wurde festgestellt und fotografisch dokumentiert, dass das Flugzeug an der Rumpfnase, entlang der gesamten Länge der Vorderkanten beider Tragflächen, den Vorderkanten der Leitwerksflossen sowie den Stirnflächen der Bauteile des Fahrwerks Eisansatz von einer Dicke von bis zu 10 mm aufwies. Als das Untersuchungsteam der BFU etwa drei Stunden nach dem Unfall die Untersuchung am Wrack aufnahm, war noch entsprechender Eisansatz vorhanden.



Abb. 8: Eisansatz etwa 50 Minuten nach dem Unfall

Quelle: Luftaufsicht

Der etwa 4 cm breite, leicht milchig aussehende Eisansatz zeigte ein raues, kristallines Erscheinungsbild und eine leicht konkave Form mit stark ausgeprägter Gratbildung am oberen und unteren Rand. Auf der Ober- und Unterseite der beiden Tragflächen hatte sich außerdem Eis streifenförmig angelagert. Lediglich in dem Bereich des, beim Aufprall auf den Boden, entstandenen Knicks der linken Tragfläche fehlte der Eisansatz.



Abb. 9: Eisansatz an Höhenleitwerk und Tragflächenvorderkanten

Quelle: Luftaufsicht/BFU

Im weiteren Verlauf der Untersuchung am Luftfahrzeug wurde die Sicht vom linken Pilotensitz in Richtung der linken Tragfläche fotografisch dokumentiert. Um die Aussage des PIC nachvollziehen zu können, wurde zum Vergleich ein etwa 60 Minuten nach dem Unfall entstandenes Foto des Eisansatzes an der Vorderkante der linken Tragfläche und ähnlicher Blickrichtung eingefügt (Abb. 10).



Abb. 10: Sicht vom linken Pilotensitz zur linken Tragfläche

Quelle: BFU

Am Flugzeug wurden die gespeicherten Daten des Central Maintenance Computers (CMC) ausgelesen. Diese enthielten die CAS Messages und die Maintenance Messages des Unfallfluges sowie Messages weiter zurückliegender Flüge und Ereignisse. Die Funktion des Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice Systems konnte nachvollzogen sowie der Zeitpunkt der Aktivierung und des Ausschaltens festgestellt werden.

1.13 Medizinische und pathologische Angaben

Nicht betroffen.

1.14 Brand

Ein Brand ist nicht entstanden.

1.15 Überlebensaspekte

Die drei Insassen des Flugzeuges blieben unverletzt. Sie verließen das Luftfahrzeug eigenständig durch die Haupttür.

1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

Nicht betroffen.

1.17 Organisationen und deren Verfahren

1.17.1 Luftfahrtunternehmen

Das Luftfahrtunternehmen hatte ein durch die belgische Luftfahrtbehörde (BCAA) ausgestelltes Air Operator Certificate (AOC) zur Durchführung von nichtplanmäßigen Passagier- und Frachtflügen (Non-scheduled Passenger and Cargo Air Services) und verfügte über insgesamt 24 Flugzeuge 11 verschiedener Flugzeugmuster, davon zwei Turboprop-Flugzeuge Beechcraft BE200 sowie 22 Jets von vier verschiedenen Herstellern, darunter zwei Flugzeuge des Musters Embraer EMB-500.

In dem Betriebshandbuch (OM) des Luftfahrtunternehmens waren Standardverfahren (SOP) festgelegt, die im täglichen Betrieb anzuwenden waren. Unter anderem wurden Vorgaben zur Anwendung von Checklisten, zur Standard Phraseologie zwischen den Besatzungsmitgliedern und zur Aufgabenverteilung zwischen den Piloten gemacht.

Laut dem Kapitel 2.3.9 Descent war es Aufgabe des PNF deutlich vor Erreichen des Top of Descent (ToD) die ATIS des Zielflugplatzes zu empfangen, um das Approach Briefing vorzubereiten.

Im Kapitel 2.3.10 *Approach* des Betriebshandbuches war festgelegt, dass die Approach Checkliste vor Beginn eines Anfluges abgearbeitet sein sollte. Die Besatzung sollte mit der Approach Checkliste bei Erhalt einer Sinkflugfreigabe auf eine Höhe nach QNH oder QFE beginnen.

Zudem waren im Abschnitt 2.3.10.1 Kriterien für einen stabilisierten Anflug beschrieben:

All approaches should be stabilized by 1.000 feet AAL in IMC and by 500 feet AAL in VMC.

An approach is considered stabilized when all of the following criteria are met:

- *The aircraft is on the correct flight path.*
- *Only small changes in heading/pitch are required to maintain the correct plight path.*
- *The aircraft is in landing configuration; [...].*
- *The IAS is not more than VREF+20 knots and not less than VREF.*
- *The thrust is appropriate for the aircraft configuration.*
- *Descent rate is less than 1.000 fpm; [...].*
- *All checklists have been completed.*

ILS approaches should be flown within one dot deviation of both glide slope and localizer.

[...]

Note 1: It is unlikely to achieve a stabilized approach if the approach speed is in excess of 160 kts by 4 NM.

Note 2: If ATC requires a higher approach speed, adapt your configuration accordingly in order to achieve a stable approach or advice ATC that you are not able to comply with the speed restriction imposed.

Nach Angaben des Luftfahrtunternehmens wurde das nach dem Flugunfall verbliebene Flugzeug dieses Musters einige Monate später verkauft, so dass das Muster seitdem nicht mehr zur Flotte des Unternehmens gehört.

1.17.2 Flugsicherung

Zu den Mitteln der Flugsicherung, die vorgeschriebene Staffelung und einen gleichmäßigen Verkehrsfluss zu gewährleisten, zählen z.B. durch Kursanweisungen Anflugwege zu verkürzen oder zu verlängern bzw. Luftfahrzeugen eine höhere Anfluggeschwindigkeit bis etwa 4 NM vor der Landebahnschwelle vorzugeben.

Im vorliegenden Fall ging aus den Aufzeichnungen des CVDR hervor, dass zu dem Zeitpunkt, als die EMB-500 4 NM vom geplanten Aufsetzpunkt entfernt war, sich eine Boeing 737-800 5 NM dahinter im Landeanflug befand.

Nach Angaben des Flugsicherungsunternehmens gaben Lotsen generell Anfluggeschwindigkeiten von 160-170 KIAS vor, da dies in der Regel von Piloten gut einzuhalten war.

In der Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolldienst (BA-FVD) des Flugsicherungsunternehmens im Kapitel Anflug- und Bezirkskontrollverfahren - Geschwindigkeitsregelung - war unter anderem festgelegt:

471.41

„Zwischen 12 NM und 4 NM vom Aufsetzpunkt zugewiesene Geschwindigkeiten sollen nicht unter 150 KT IAS liegen.“

Die International Civil Aviation Organization (ICAO) hatte fünf Anflugkategorien für Flugzeuge festgeschrieben. In die Kategorie A gehörten demnach Flugzeuge, die im Endanflug eine Geschwindigkeit von 70-110 kt fliegen (zumeist kleine einmotorige Flugzeuge). Kleine mehrmotorige Flugzeuge waren der Kategorie B mit Werten von 85-130 kt, die meisten Verkehrsflugzeuge der Kategorie C mit 115-160 kt und einige Jets der Kategorie D (130-185 kt) zugeordnet. In die höchste Kategorie (E) gehörten Flugzeuge mit einer Endanfluggeschwindigkeit von 155-230 kt (einige Militärflugzeuge).

1.18 Zusätzliche Informationen

1.18.1 Vereisungsschutzsysteme

Vereisungsschutzsysteme (Ice Protection Systems) werden grundsätzlich unterschieden in Anti-Ice Systeme und De-Ice Systeme. Während ein Anti-Ice System die Funktion hat, einen Eisansatz von vornherein zu verhindern, sorgt ein De-Ice System dafür, dass anhaftendes Eis entfernt wird.

Bei Vereisungsschutzsystemen kommen überwiegend die folgenden Methoden zur Anwendung:

- Thermisch entweder mittels heißer Luft oder elektrischer Heizung
- Mechanisch pneumatisch (De-Ice Boots)
- chemisch (Flüssigkeitsenteisung)

Während bei Verkehrsflugzeugen Trag- und Leitwerksvorderkanten zumeist mit heißer Luft oder elektrisch beheizt werden und dabei die Funktionen der Eisverhütung und der Enteisung erfüllen, sind bei kleineren Luftfahrzeugen der Allgemeinen Luftfahrt De-Ice Boots verbreitet, die als reine De-Ice Systeme zu betrachten sind.

Dabei wird anhaftendes Eis durch das Aufblasen der De-Ice Boots in kleine Teile zerlegt und durch die Luftströmung entfernt.

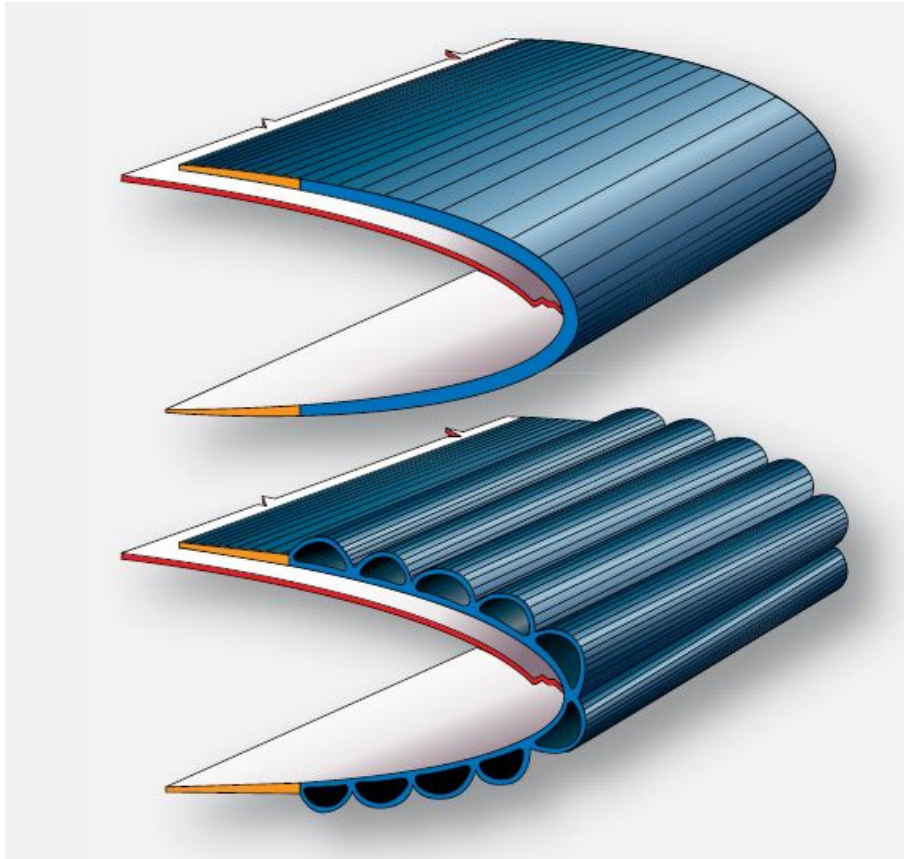


Abb. 11: Querschnitt pneumatischer De-Ice Boots

Quelle: FAA AMT Airframe Handbook

Das Flugzeugmuster Beechcraft King Air bzw. Super King Air, auf dem der PIC neben dem Muster EMB-500 flog, ist mit solchen De-Ice Boots an Trag- und Leitwerk ausgestattet.

1.18.2 Auswertung von Daten vorheriger Flüge mit dem Flugzeug

Die BFU wertete die auf dem CVDR gespeicherten Daten zurückliegender Flüge hinsichtlich der Verwendung des Engine Anti-Ice Systems und des Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice Systems aus. Dabei wurden die jeweiligen Flugphasen und die OAT während der Nutzung und die Dauer der Nutzung betrachtet. Für den Zeitraum 30.10.2012 bis zum Flugunfall ergab die Auswertung 22 Flüge, bei denen zeitweilig das Engine Anti-Ice System eingeschaltet war. Bei 8 der 22 Flüge war zudem das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System eingeschaltet. Von den verbleibenden 14 lag bei 6 Flügen die OAT in dem Bereich kleiner 5 °C.

1.18.3 Ergebnis der Untersuchung eines vergleichbaren Flugunfalls

Am 08.12.2014 ereignete sich in den USA in Gaithersburg (Maryland) ein Flugunfall mit einem Flugzeug des betroffenen Musters bei dem das Flugzeug in Vereisungsbedingungen in den überzogenen Flugzustand geriet. Bei dem Aufprall wurden der Pilot und zwei Fluggäste sowie drei außenstehende Personen tödlich verletzt. Das Flugzeug wurde zerstört.

In dem im Juni 2016 veröffentlichten Untersuchungsbericht des NTSB (Aktenzeichen NTSB/AAR-16/01) wurden die wahrscheinlichen Unfallursachen wie folgt festgestellt:

The National Transportation Safety Board determines that the probable cause of this accident was the pilot's conduct of an approach in structural icing conditions without turning on the aircraft's wing and horizontal stabilizer deice system, leading to ice accumulation on those surfaces, and without using the appropriate landing performance speeds for the weather conditions and airplane weight, as indicated in the airplane's standard operating procedures, which together resulted in an aerodynamic stall at an altitude at which recovery was not possible.

Das NTSB erörterte in deren Untersuchungsbericht drei mögliche Szenarien, die dazu geführt haben könnten, dass der Pilot das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht eingeschaltet hat:

- der Pilot war besorgt über die erforderliche Landestrecke
- der Pilot hat vergessen das De-Ice System zu aktivieren
- der Pilot hat den Effekt von Vereisung auf die Flugleistung des Luftfahrzeuges nicht richtig eingeschätzt.

Das NTSB hatte im Ergebnis der Untersuchung insgesamt drei Sicherheitsempfehlungen herausgegeben. Der Federal Aviation Administration (FAA) und der General Aviation Manufacturers Association (GAMA) wurde empfohlen, ein System zu entwickeln, welches Piloten automatisch warnt, dass das Ice Protection System aktiviert werden sollte.

An die National Business Aviation Association (NBAA) erging eine Sicherheitsempfehlung des NTSB, verbesserte Trainingsprogramme mit Schwerpunkt auf Risikomanagement im Winterflugbetrieb und der Nutzung von Ice Protection Systemen zu entwickeln.

1.18.4 Anforderungen an die Qualifikation von EMB-500-Piloten

Der BFU lagen zum Flugzeugmuster EMB-500 der Flight Standardization Board Report der FAA vom 15.09.2010 sowie der Operational Evaluation Board Report der EASA vom 23.01.2012 sowie vom 17.10.2013 (nach dem Unfall) vor, in denen die Anforderungen der Luftfahrtbehörden an die Ausbildung von Piloten festgelegt waren.

In den Dokumenten war das Muster EMB-500 in die ICAO-Anflugkategorie B eingeordnet. Beschrieben waren unter anderem Spezifikationen für das Training, die Überprüfungen sowie das Fliegen unter Supervision. Zudem waren die Anforderungen für das Initial Type Rating Training, bezüglich der in dem theoretischen und dem praktischen Ausbildungsabschnitt abzuarbeitenden Training Areas of Special Emphasis (TASE) aufgeführt.

Zu den als besondere Schwerpunkte genannten Themenbereichen (TASE) zählten der Betrieb unter Vereisungsbedingungen und das Stall Warning and Stick Pusher System.

1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Nicht betroffen.

2. Beurteilung

2.1 Unfallgeschehen/Allgemeines

Die aufgezeichneten Daten belegen, dass etwa 16 Sekunden vor dem Aufprall des Flugzeugs der Längsneigungswinkel sich zu vergrößern begann, wobei die Geschwindigkeit immer weiter zurückging und das Flugzeug unter den ILS-Gleitpfad geriet. Etwa zwei Sekunden vor dem Aufprall rollte das Flugzeug plötzlich mit einer hohen Rate von etwa 15° pro Sekunde um die Längsachse nach links.

Die schlagartige Rollbewegung des Flugzeugs mit anschließendem Höhenverlust bei einem Anstellwinkel, bei dem das Luftfahrzeug normalerweise noch ohne Probleme fliegen sollte, ist typisch für das Überziehverhalten mit vereister Flugzeugstruktur (Raueis). Die Vorderkanten von Tragflächen und Leitwerk und die anderen Stirnflächen des Flugzeuges wiesen deutliche Eisakkumulation auf. Der dokumentierte Eisansatz wies sowohl Merkmale von Raueis als auch von Klareis auf. Das Raueis sowie die Doppelhornstruktur des Eisansatzes beeinträchtigen die aerodynamischen Eigenschaften eines Profils sehr stark. Der festgestellte streifenförmige Eisansatz auf Ober- und Unterseite der Tragflächen (Runback Ice) zeigt, dass es sich um eine Mischform aus Rau- und Klareis handelte.

Aufgrund der geringen Höhe über Grund in Verbindung mit dem flachen Aufprallwinkel und der relativ niedrigen Geschwindigkeit blieben die Insassen unverletzt und es entstand lediglich ein Schaden am Flugzeug.

Die Untersuchung ergab keine Hinweise auf eine Fehlfunktion des Vereisungsschutzsystems, des SWPS oder andere technische Mängel am Luftfahrzeug.

2.2 Handlungen von Personen

In den zehn Minuten Reiseflug vor Erreichen des Top of Descent hatte die Besatzung mehrfach erfolglos versucht, die ATIS des Zielflughafens abzuhören.

Die Stimmufzeichnungen aus dem Cockpit und die handschriftlichen Notizen des PIC im Operational Flight Plan belegen eindeutig, dass er durch das Abhören der ATIS über die im Anflug und am Zielflughafen herrschenden Wetterbedingungen informiert war. Trotzdem wurden bei der Vorbereitung des Flugzeugs für den Anflug Werte für V_{AC} , V_{FS} und V_{REF} am FMS eingegeben, die in Flughafennähe

gemeldeten Vereisungsbedingungen nicht berücksichtigten. Als der PIC bei der Abarbeitung der Descent Checkliste die Frage stellte: „Landing speeds?“ hatte die Copilotin geantwortet „set by me“ ohne die jeweiligen Geschwindigkeitswerte explizit zu nennen. Der PIC fragte auch nicht danach. Die Antwort der Copilotin „negative, no visible moisture“ auf die Frage des PIC nach Vereisungsbedingungen zeigt, dass die Piloten dies in dieser Phase visuell überprüften.

Als das Flugzeug um 08:55 Uhr den Sinkflug auf 3 000 ft, die Ausgangshöhe für den ILS-Anflug, beendet hatte, erhielt die Besatzung die Aufforderung, eine Geschwindigkeit von mindestens 170 kt einzuhalten. Der PIC hat die hohe Geschwindigkeit akzeptiert, die Einhaltung von 175 kt zugesagt und dies an der AFCS Control Unit eingestellt. Generell ist im Landeanflug mit einem Flugzeug dieses Typs eine Verringerung der Geschwindigkeit von 10-20 kt pro Nautischer Meile möglich. Im vorliegenden Fall wurde die überschüssige Geschwindigkeit mit etwa 17 kt pro NM abgebaut. Das Akzeptieren der hohen Geschwindigkeit führte dazu, dass das Flugzeug erst später für die Landung konfiguriert werden konnte und hatte für die beiden Piloten eine Erhöhung der Arbeitsbelastung in der Endphase des Anflugs zur Folge. Der geforderte Wert von mindestens 170 KIAS bei einer Entfernung von 4 NM zur Landebahnschwelle lag zudem oberhalb dessen, was im OM des Luftfahrtunternehmens für das Erreichen eines stabilisierten Anfluges als machbar angegeben war. Die BFU ist der Auffassung, dass der PIC, der die Verkehrssituation über Funk mitgehört hatte, den Wunsch der Flugsicherung erfüllen wollte. Sehr wahrscheinlich war er überzeugt, dass, entgegen der Vorgaben im OM, die Landung auch bei erhöhter Anfluggeschwindigkeit gelingen würde.

Nach Aussage des PIC hatte er die Engine Anti-Ice und Windshield Anti-Ice Systeme eingeschaltet, als das Flugzeug von oben in die Wolken eingeflogen war. Seine Worte: „ja, de motoren er bij want het is negatief terug ze hadden het gezegd he, moderate Icing below three thousand (ja, ich schalte die Motoren zu, weil es wieder negativ ist, sie haben gesagt, moderate icing below three thousand)“ belegen, dass er die Temperaturanzeige am PFD beobachtet hat und, dass ihm bewusst war, dass Vereisungsbedingungen herrschten. Obwohl die Bedingungen (Temperatur unterhalb von 5 °C und Feuchtigkeit erkennbar) dafür erfüllt waren, schaltete er das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht ein.

Erst im Endanflug, etwa zwei Minuten vor dem Unfall, in einer Höhe von ca. 2 000 ft, begann der PIC mit der Abarbeitung der Approach Checkliste. Die Standard Operating Procedures sahen vor, diese Checkliste bereits vor Beginn des

Landeanfluges, bei Wechsel der Höhenmessereinstellung auf QNH, abzuarbeiten. Die Bemerkung des PIC „[...] dat staat hier nog aan (das ist noch an)“ bei der Abarbeitung des Prüfpunktes „icing conditions?“ bezieht sich nach Ansicht der BFU mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die zu diesem Zeitpunkt noch eingeschalteten Engine Anti-Ice Systeme 1 und 2.

Die aufgezeichneten Gespräche der Piloten und die Flugdaten zeigen, dass ab etwa zwei Minuten vor dem Unfall, bei einer Entfernung von ca. 4 NM zur Landebahn, die Geschwindigkeit verringert wurde, um das Flugzeug für die Landung zu konfigurieren. In dieser Phase hat die Copilotin den Autopiloten deaktiviert.

Laut seiner Aussage habe der PIC, als das Flugzeug die Wolken nach unten verließ, beim Blick aus dem Fenster, an dem für ihn einsehbaren äußeren Drittel der linken Tragfläche, keinen Eisansatz gesehen. Es ist jedoch nicht plausibel, dass der bei der Untersuchung festgestellte Eisansatz erst nach dem Verlassen der Wolken entstanden sein kann. Die Aussage des PIC über die von ihm durchgeführte visuelle Kontrolle der linken Tragfläche lässt sich mit den CVDR Aufzeichnungen dieser Flugphase nicht belegen. Nach Auffassung der BFU ist es möglich, dass er bei einem flüchtigen Blick zur Tragfläche den milchig-weißen Eisansatz auf dem silbergrauen Untergrund der De-ice Boots übersehen haben kann. Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass er gar nicht danach gesehen hat. Die aufgezeichneten Daten zeigen, dass das Engine Anti-Ice System ausgeschaltet wurde.

Etwa eineinhalb Minuten vor dem Unfall, bei einer Geschwindigkeit von 134 KIAS, bat die Copilotin den PIC, die Landeklappen voll auszufahren und stellte eine V_{REF} von 96 KIAS ein. Als sich die Landeklappen in voll ausgefahrener Stellung befanden, betrug die Flughöhe ca. 640 ft AAL.

Sehr wahrscheinlich ausgelöst durch die synthetische Höhenansage „FIVE HUNDRED“ um 08:59:44 Uhr stellte der PIC fest, dass unmittelbar vor der Landung noch nicht alle Checklisten abgearbeitet waren und sagte: “landing checklist voor de zekerheid, de yaw damper is [...], gear down three greens, flaps are full, landing clearance update”. Er erkundigte sich über Funk nach der Landefreigabe, obwohl diese bereits knapp drei Minuten zuvor erteilt worden war. Der Grund dafür liegt nach Ansicht der BFU sehr wahrscheinlich darin, dass der PIC die erhaltene Landefreigabe aufgrund der Fülle, der bis zur Landung noch zu bewältigenden Aufgaben, vergessen hat. Während der PIC den Funkspruch an die Lotsin absetzte, in einer Flughöhe von ca. 250 ft AAL, reduzierte die Copilotin die Geschwindigkeit des Flugzeuges weiter.

Als bei einer Höhe von 200 ft die synthetische Ansage „MINIMUMS, MINIMUMS“ ertönte, war der PIC noch immer mit der Kommunikation mit der Lotsin bezüglich der Landefreigabe beschäftigt.

Etwa 15 Sekunden vor dem Unfall, in einer Höhe von ca. 150 ft über Grund, begann die Copilotin das Flugzeug abzufangen und erhöhte dazu den Längsneigungswinkel kontinuierlich. Das Flugzeug begann in dieser Phase den ILS-Gleitpfad nach unten zu verlassen. Keiner der beiden Piloten sprach diese Tatsache an. Die Copilotin schaute nach draußen und war zudem darauf konzentriert, die Geschwindigkeit auf den für den Überflug der Landebahnschwelle vorgesehenen Wert zu reduzieren. Nach Auffassung der BFU zeigt dies, dass sich der PIC auf die Kommunikation mit der Lotsin konzentrierte und von der Überwachung der Copilotin abgelenkt war.

In dieser Phase wurde sowohl die im AFM festgelegte V_{MC} für Vereisungsbedingungen als auch die durch die Piloten eingestellte V_{REF} unterschritten.

Im weiteren Verlauf der Erhöhung des Längsneigungswinkels kam es zum Strömungsabriss. Die plötzliche starke Rollbewegung und das Sinken des Luftfahrzeuges konnten bis zum Aufprall nicht mehr gestoppt werden.

2.3 Spezifische Bedingungen

Aus der Sichtweite und der Höhe der Hauptwolkenuntergrenze ergibt sich, dass in der Kontrollzone Instrumentenwetterbedingungen herrschten.

Aus den vorliegenden Daten und Aussagen ergibt sich, dass sich die Obergrenze der geschlossenen Wolkendecke in etwa 3 000 ft AMSL befand, während die Untergrenze bei 1 400 ft AAL lag. Das Flugzeug befand sich für einen Zeitraum von etwa drei Minuten in dieser Wolkenschicht. In diesem Zeitraum war entlang der Vorderkanten beider Tragflächen und des Leitwerks sowie an den Stirnflächen anderer Bauteile deutlicher Eisansatz entstanden, der noch für mehrere Stunden nach dem Unfall nachweisbar blieb.

Mit der Instruktion der Lotsin, eine Geschwindigkeit von mehr als 170 kt bis 4 NM vor dem Aufsetzen zu halten, sollte der Verkehrsfluss bzw. die Separation zwischen den verschiedenen Luftfahrzeugen sichergestellt werden. Aufgrund dessen, dass der PIC die hohe Geschwindigkeitsvorgabe der Lotsin akzeptierte, konnte das Flugzeug erst wesentlich später für die bevorstehende Landung konfiguriert werden.

Die Sprachaufzeichnungen deuten nach Ansicht der BFU darauf hin, dass die Arbeitsbeziehung innerhalb der Besatzung zwischen dem fliegerisch sehr erfahrenen PIC und der am Beginn ihrer fliegerischen Karriere stehenden Copilotin eher der zwischen Fluglehrer und Flugschülerin glich. Die Aufzeichnungen zeigen zudem, dass die Copilotin während des Anfluges insbesondere in dem Teil, den sie manuell zu fliegen hatte, hoch beansprucht war.

2.4 Sicherheitsmechanismen

Im Rahmen dieser Untersuchung werden unter dem Begriff Sicherheitsmechanismen technische Systeme, Maßnahmen, Verfahren und Einrichtungen verstanden, die die Auswirkungen auftretender technischer oder menschlicher Fehler im Sinne der Wahrung der Flugsicherheit minimieren sollen.

Standardverfahren und Checklisten

Zu den Sicherheitsmechanismen zählen Standardverfahren. Diese sollen vor Fehlern bei der Entscheidungsfindung schützen sowie bei der Vermeidung fehlerhafter Handlungen helfen.

Laut OM-B sollte deutlich vor Erreichen des Top of Descent die ATIS abgehört und das Approach Briefing durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall war es den Piloten jedoch nicht gelungen, bis zum Verlassen der Reiseflughöhe, die ATIS Frequenz von Berlin Schönefeld zu empfangen. Der Grund dafür liegt darin, dass das Flugzeug sich deutlich außerhalb der operationellen Reichweite des ATIS-Senders (60 NM in FL200) befand. Der Empfang der ATIS Informationen verzögerte sich zudem weiter aufgrund der notwendigen Kommunikation mit der Flugsicherung, die der PIC führte ohne die Copilotin einzubeziehen. Diese Faktoren führten dazu, dass das Approach Briefing erst wesentlich später als vorgesehen durchgeführt wurde.

Der PIC hatte vor dem Approach Briefing die Copilotin zwar über Wetterbedingungen am Zielflughafen informiert, dabei jedoch weder Temperatur und Taupunkt, noch die gemeldeten Vereisungsbedingungen erwähnt.

Während des Sink- und Landeanfluges hat die Besatzung keine der vorgeschriebenen Checklisten zum jeweils vorgesehenen Zeitpunkt, sondern erst wesentlich später, abgearbeitet. So sollte laut Verfahren im OM die Approach Checkliste bei Änderung der Höhenmessereinstellung auf QNH oder QFE abgearbeitet werden. Im vorliegenden Fall geschah dies jedoch erst während des Endanfluges, in etwa 1 900 ft Höhe. Nach Ansicht der BFU trug diese

Verfahrensabweichung zur Erhöhung der Arbeitsbelastung der Besatzung im Allgemeinen und für die unerfahrene Copilotin im Besonderen bei. Im Fall der Before Landing Checkliste führte die verspätete Abarbeitung dazu, dass der PIC in der kritischen Phase des Endanfluges auf die Kommunikation mit der Lotsin konzentriert und von seinen anderen Aufgaben insbesondere der Überwachung der Einhaltung der Geschwindigkeitsparameter durch die Copilotin abgelenkt war.

Ice Protection System

Zur Vorbereitung des Flugzeugs zur Landung gehörte es, die richtige Anflug-/Endanfluggeschwindigkeit und V_{REV} einzustellen. Aus den meteorologischen Informationen der ATIS ging anhand der Parameter Temperatur, Taupunkt, Bewölkung, Sicht und der Meldung über beobachtete mäßige Vereisung eindeutig hervor, dass die Ice Protection einschließlich Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice einzuschalten gewesen wäre. Der PIC wies zwar mit seiner Bemerkung: "ja, de motoren er bij want het is negatief terug ze hadden het gezegd he, moderate Icing below three thousand (ja, ich schalte die Motoren zu weil es wieder negativ ist, sie haben gesagt, moderate icing below three thousand)" erneut darauf hin, schaltete jedoch trotzdem lediglich Windshield Anti-Ice und Engine Anti-Ice beider Triebwerke ein.

Die Tatsache, dass die Besatzung trotz herrschender Vereisungsbedingungen das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht einschaltete führte erstens dazu, dass der Eisansatz an Tragflächen und Leitwerk nicht entfernt wurde und machte zweitens dadurch das Stall Warning & Protection System unwirksam.

Nach Auffassung der BFU sind De-Ice Boots historisch als Enteisungssystem entwickelt worden, dass rein reaktiv zum Entfernen eines Eisansatzes zu verwenden war. Dabei mussten Piloten den Eisansatz zunächst bemerken und seine Akkumulation beobachten, um dann durch Aktivieren der Boots das Eis zu entfernen. Im vorliegenden Fall war das De-Ice System so konstruiert, dass es nicht allein reaktiv sondern proaktiv verwendet werden muss, da von der Aktivierung dieses Systems die Anpassung der Stall Warning und des Stickpushers des SWPS abhängt und auch die Anflugplanung beeinflusst wird.

Crew Resource Management

Die Auswertung der CVDR-Aufzeichnung verdeutlicht nach Ansicht der BFU Mängel bei der Anwendung der Prinzipien des Crew Resource Management. Die Mängel waren in den Bereichen Kooperation, Kommunikation, Führungsverhalten, situativer Aufmerksamkeit, dem gegenseitigen Überwachen und der Entscheidungsfindung festzustellen.

Während sich das Flugzeug im Sinkflug auf 3 000 ft befand, hatte der PIC die Copilotin innerhalb von fünf Minuten neun Mal aufgefordert, eine hohe Geschwindigkeit zu halten, um den nachfolgenden Verkehr nicht zu behindern. Die Tatsache, dass die Copilotin immer wieder die Geschwindigkeit zu reduzieren versuchte, deutet nach Auffassung der BFU darauf hin, dass sie einerseits bestrebt war, den SOP zu folgen sowie andererseits, dass sie die in der Ausbildung erlernten Anflugparameter (Geschwindigkeit, Landeklappenstellung usw.) herstellen und einen Standard-ILS-Anflug durchführen wollte. Die Sprachaufzeichnungen des CVDR enthielten keine Hinweise, dass die Piloten beraten hätten, ob die auf dem Muster und bezüglich des Fliegens unter Vereisungsbedingungen unerfahrene Copilotin sich in der Lage sah, den Landeanflug durchzuführen. Die BFU ist der Meinung, dass zu gutem CRM gehört hätte, dass der PIC diese Umstände erkennt und kommuniziert, um rechtzeitig eine Entscheidung treffen zu können, ob ein Wechsel der Funktionen Pilot Flying / Pilot Non Flying oder besondere Unterstützung während des Anfluges notwendig sind.

Als das Flugzeug in die Wolken einflog, hätten die Piloten erkennen müssen, dass auch das Wing an Horizontal Stabilizer De-Ice System aktiviert werden muss. Keiner der beiden Piloten hat darauf hingewiesen, dass gemäß SOP die Bedingungen dafür erfüllt waren oder die diesbezüglich getroffene Entscheidung in Frage gestellt.

In der Phase des Abfangens des Flugzeuges ließen die beiden Piloten zu, dass die V_{MC} für Vereisungsbedingungen und die für den Anflug festgelegte V_{REF} unterschritten wurde.

Stabilized Approach

Im Ergebnis von Untersuchungen diverser Landeunfälle in der Vergangenheit wurde festgestellt, dass einem Landeunfall häufig ein Anflug vorausgeht, der nicht stabilisiert war. Zur Vermeidung von Landeunfällen wurden als Hilfsmittel für Piloten Kriterien für einen stabilisierten Anflug entwickelt, deren Nichteinhaltung an einem Safety Gate (1 000 ft in IMC bzw. 500 ft in VMC) zu einem Abbruch des Anflugs

führen sollte. Dieses Verfahren war durch Luftfahrtunternehmen als Standardverfahren eingeführt worden. Zu den Kriterien gehören die richtige Landeklappenstellung und die richtige Geschwindigkeit. Im vorliegenden Fall war das Flugzeug bei Passieren von 1 000 ft AAL noch nicht in Landekonfiguration, aber auch in 500 ft AAL waren die Kriterien für einen stabilisierten Anflug nicht vollständig erfüllt, da die Before Landing Checkliste noch nicht abgearbeitet war. Entsprechend der Vorgaben des OM hätten die Piloten daher spätestens beim Erreichen von 500 ft ein Durchstarten einleiten müssen.

Die Anweisung der Lotsin an die Besatzung mit mindestens 170 KIAS anzufliegen lag an der Obergrenze üblicherweise vorgegebener Geschwindigkeitswerte. Dieser Wert berücksichtigte nach Meinung der BFU nur unzureichend das konkret betroffene Flugzeugmuster. Die Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolldienst (BA-FVD) des Flugsicherungsunternehmens enthielt diesbezüglich lediglich die Festlegung, Piloten keine geringeren Werte als 150 KIAS vorzugeben. Die Formulierung der Lotsin „[...] maintain speed a hundred and seventy knots or greater to four miles final“ war zudem eher als Aufforderung an die Besatzung denn als Frage zu verstehen.

Obwohl die Besatzung diese Aufforderung hätte ablehnen können und nach ihren SOP auch hätte ablehnen müssen, akzeptierte der PIC und die Copilotin intervenierte nicht. Dieses Verhalten deutet nach Meinung der BFU darauf hin, dass die Piloten dieses SOP nicht als verbindlich betrachteten.

2.5 Organisatorische Aspekte

Sowohl die FAA als auch die EASA hatten für das Flugzeugmuster besondere Schwerpunkte für das Pilotentraining zum Erwerb der Musterberechtigung festgelegt. Der Betrieb des Flugzeugs unter Vereisungsbedingungen, SWPS Warnung und Stick Pusher sowie das Zusammenwirken mit dem De-Ice System waren als solche erkannt worden.

Die Tatsache, dass sowohl der erfahrene, seit Jahren in der Geschäftsfliegerei auf verschiedenen Flugzeugmustern tätige und zudem als FI und CRI ausgebildete PIC, als auch die Copilotin, die erst kurz zuvor die Ausbildung zum Erwerb der Musterberechtigung durchlaufen hatte, das Ice Protection System nicht den Verfahren entsprechend nutzten, deutet nach Auffassung der BFU auf Mängel in der Ausbildung hin. Die Erläuterungen des PIC gegenüber der BFU, dass es unter Piloten Diskussionen gäbe, wonach das System nur bei einem Eisansatz von mindestens 0,25 inch aktiviert werden sollte, macht sein unzureichendes Systemwissen deutlich.

Des Weiteren zeigte die Auswertung der CVDR Daten vorheriger Flüge mit dem Flugzeug des Luftfahrtunternehmens, dass bei sechs weiteren Flügen im Winterhalbjahr vor dem Flugunfall das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht eingeschaltet worden war, obwohl die in dem entsprechenden SOP beschriebenen meteorologischen Bedingungen erfüllt waren. Nach Meinung der BFU deutet dies darauf hin, dass auch der Wissensstand anderer EMB-500-Piloten in dem Luftfahrtunternehmen bezüglich des Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice Systems und SWPS sehr unterschiedlich und teilweise mangelhaft war. Da das Luftfahrtunternehmen das Luftfahrzeugmuster jedoch nicht mehr betreibt, hat die BFU diesbezüglich auf eine Sicherheitsempfehlung verzichtet.

Nach Auffassung der BFU sollte durch eine Ergänzung der Anforderungen der Luftfahrtbehörden die Ausbildung von Piloten für dieses Flugzeugmuster in Bezug auf das Risikomanagement im Winterflugbetrieb und die Nutzung von Ice Protection Systemen verbessert werden.

3. Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

- Die Piloten waren im Besitz der für die Flugdurchführung vorgeschriebenen Lizenzen und Berechtigungen.
- Es wurden keine Hinweise auf eine Fehlfunktion des Vereisungsschutzsystems, des SWPS oder andere technische Mängel am Luftfahrzeug festgestellt.
- Die Tatsache, dass das Flugzeug mit einem CVDR ausgerüstet war, ermöglichte die Auswertung einer Fülle wertvoller Daten und Informationen und trug damit entscheidend zum Ergebnis dieser Untersuchung bei.
- Die ATIS informierte über von Piloten berichtete mäßige Vereisung unterhalb von 3 000 ft AMSL.
- Obwohl die Bedingungen gemäß AFM erfüllt waren, hat die Besatzung das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht eingeschaltet. Dadurch konnte sich ein Eisansatz aufbauen und das Stall Warning and Protection System des Flugzeuges wurde unwirksam.
- Das Flugzeug flog in ca. 3 000 ft in die Wolken ein und verließ diese nach etwa drei Minuten in ca. 1 400 ft. In diesem Zeitraum bildete sich der Eisansatz.
- Der Eisansatz wurde von der Besatzung nicht bemerkt.
- Die von der Flugsicherung geforderte Anfluggeschwindigkeit entsprach den laut BA-FVD üblichen Standards, berücksichtigte jedoch nicht ausreichend die Anflugkategorie des Flugzeuges.
- Die Tatsache, dass der PIC die Bitte der Flugsicherung um eine erhöhte Anfluggeschwindigkeit bis 4 NM vor Landebahnschwelle akzeptierte, führte zu einer Erhöhung der Arbeitsbelastung der Piloten und erschwerte das Herstellen eines stabilisierten Anflugs.
- Obwohl bei Erreichen des Safety Gates die Bedingungen für einen stabilisierten Anflug nicht erfüllt waren, setzte die Besatzung entgegen der geltenden SOP den Anflug fort.

- Der Endanflug erfolgte mit einer für Vereisungsbedingungen deutlich zu geringen Fluggeschwindigkeit.
- Während des Abfangbogens kam es zum Strömungsabriss und das Flugzeug prallte in einer Rollbewegung auf den Boden.
- Der Aufprall erfolgte vor der Landebahnschwelle zuerst mit der linken Tragfläche.
- Aufgrund der zum Zeitpunkt des Strömungsabrisses geringen Flughöhe und Geschwindigkeit blieben die Insassen des Flugzeuges unverletzt.
- Obwohl EASA und FAA entsprechende *Training Areas of Special Emphasis* festgelegt hatten, zeigte dieser Unfall und die Auswertung weiterer Flüge mit dem Flugzeug des Luftfahrtunternehmens und ein vergleichbarer Unfall in den USA, Defizite im Verständnis der Piloten bezüglich der Nutzung des Ice Protection Systems in Verbindung mit dem Stall Warning and Protection Systems.

3.2 Ursachen

Der Flugunfall ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die Besatzung führte den Anflug unter bekannten Vereisungsbedingungen durch und schaltete dabei, entgegen der Standard Operating Procedures (SOP), das Wing and Horizontal Stabilizer De-Ice System nicht ein.
- Das Flugzeug geriet aufgrund von Eisansatz an Tragflächen und Leitwerk und Unterschreiten der für Vereisungsbedingungen vorgeschriebenen Anfluggeschwindigkeit beim Abfangen in den überzogenen Flugzustand und kippte ab.

Beitragender Faktor:

- Die Besatzung verfügte über unzureichende Kenntnisse hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem Ice Protection System und dem Stall Warning Protection System (SWPS).

4. Sicherheitsempfehlungen

Die BFU hat die folgenden Sicherheitsempfehlungen herausgegeben:

BFU SE Nr. 9/2018

Die belgische Luftfahrtbehörde *Directorat-General de l'Aviation Civile* sollte im Rahmen ihrer Aufsichtsführung sicherstellen, dass das Luftfahrtunternehmen geeignete Maßnahmen trifft, die die konsequente Einhaltung der *Standard Operating Procedures* und die Anwendung der Kriterien für einen stabilisierten Anflug gewährleisten.

BFU SE Nr. 10/2018

Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) sollte in Zusammenarbeit mit der brasilianische Luftfahrtbehörde *Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)* sicherstellen, dass der Flugzeughersteller des Musters EMB-500 den Syllabus für den Erwerb der Musterberechtigung dahingehend präzisiert, dass Piloten die Bedeutung, Funktion und Handhabung der *Ice Protection* und *Stall Warning Protection* Systeme für das Muster EMB-500 unmissverständlich klar wird.

BFU SE Nr. 11/2018

Die brasilianische Luftfahrtbehörde *Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)* sollte in Zusammenarbeit mit der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) sicherstellen, dass der Flugzeughersteller des Musters EMB-500 den Syllabus für den Erwerb der Musterberechtigung dahingehend präzisiert, dass Piloten die Bedeutung, Funktion und Handhabung der *Ice Protection* und *Stall Warning Protection* Systeme für das Muster EMB-500 unmissverständlich klar wird.

Im Ergebnis der Untersuchung dieses Unfalls sowie aufgrund der Erkenntnisse aus einem Unfall mit dem Flugzeug Diamond DA-40 NG vom 02.03.2018 (Aktenzeichen BFU18-0211-3X) hat die BFU die folgende Sicherheitsempfehlung herausgegeben:

BFU SE Nr. 12/2018

Die Deutsche Flugsicherung (DFS) sollte sicherstellen, dass bei der Zuweisung einer Geschwindigkeit für den Endanflug neben den Staffelungserfordernissen auch die Anflugkategorie des jeweiligen Flugzeugs und die durch Piloten einzuhaltenden Safety Gates berücksichtigt werden.

Die Betriebsanweisung Flugverkehrsdienste (BA-FVD) sollte zu diesem Zweck wie folgt ergänzt werden:

Vor der Zuweisung einer Geschwindigkeit sollte der Pilot gefragt werden, welche Geschwindigkeit bis zu welcher Entfernung vom Aufsetzpunkt gehalten werden kann. Einmotorigen Propellerflugzeugen im Endanflug sollten nach Einleiten des Sinkfluges keine Geschwindigkeiten zugewiesen werden.

Untersuchungsführer: Jens Friedemann

Untersuchung vor Ort: Uwe Berndt, Thomas Karge,
Jens Friedemann

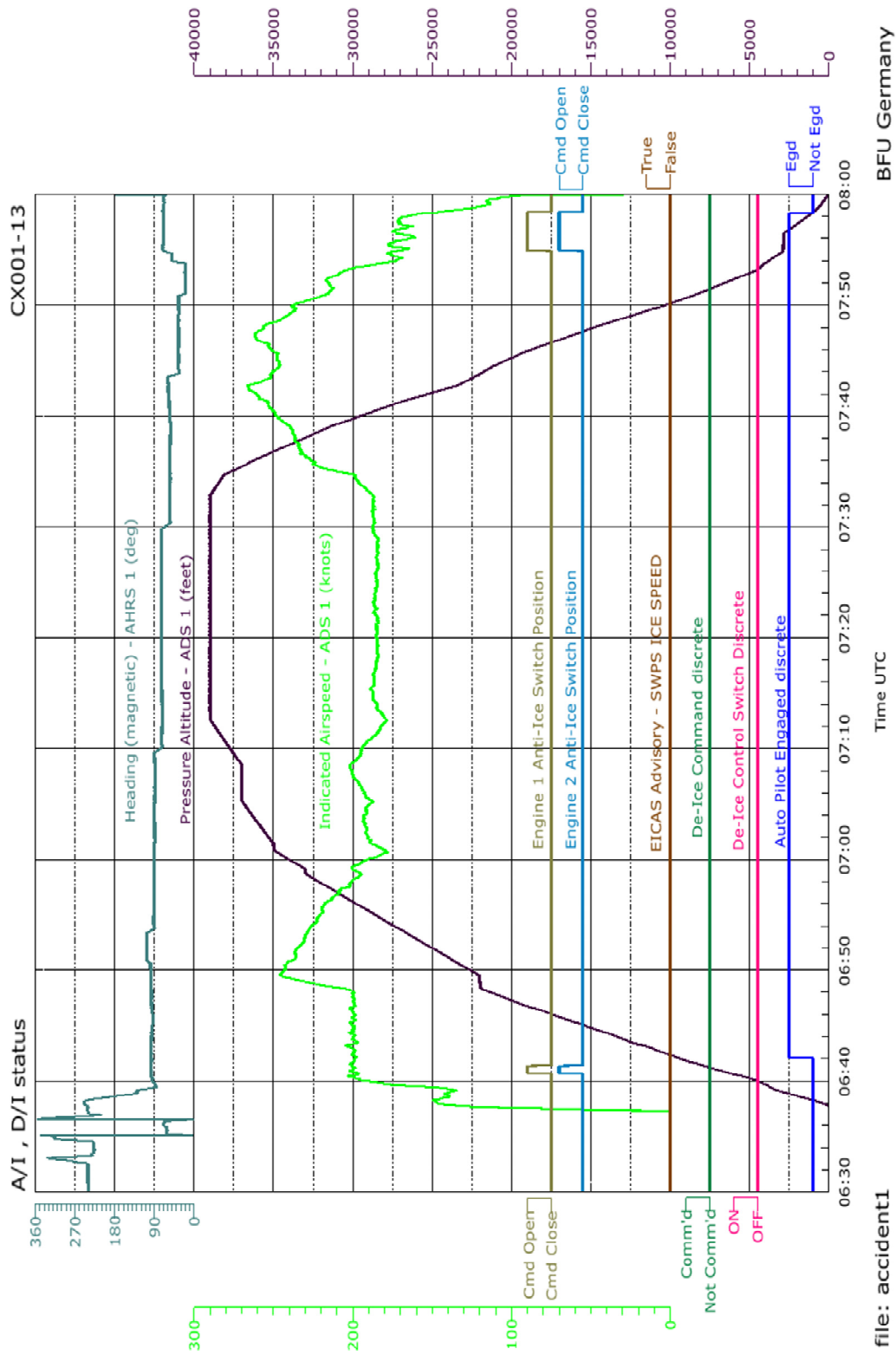
Mitwirkung: Dieter Ritschel, Hans W. Hempelmann,
Philipp Lampert

Braunschweig den 17.12.2018

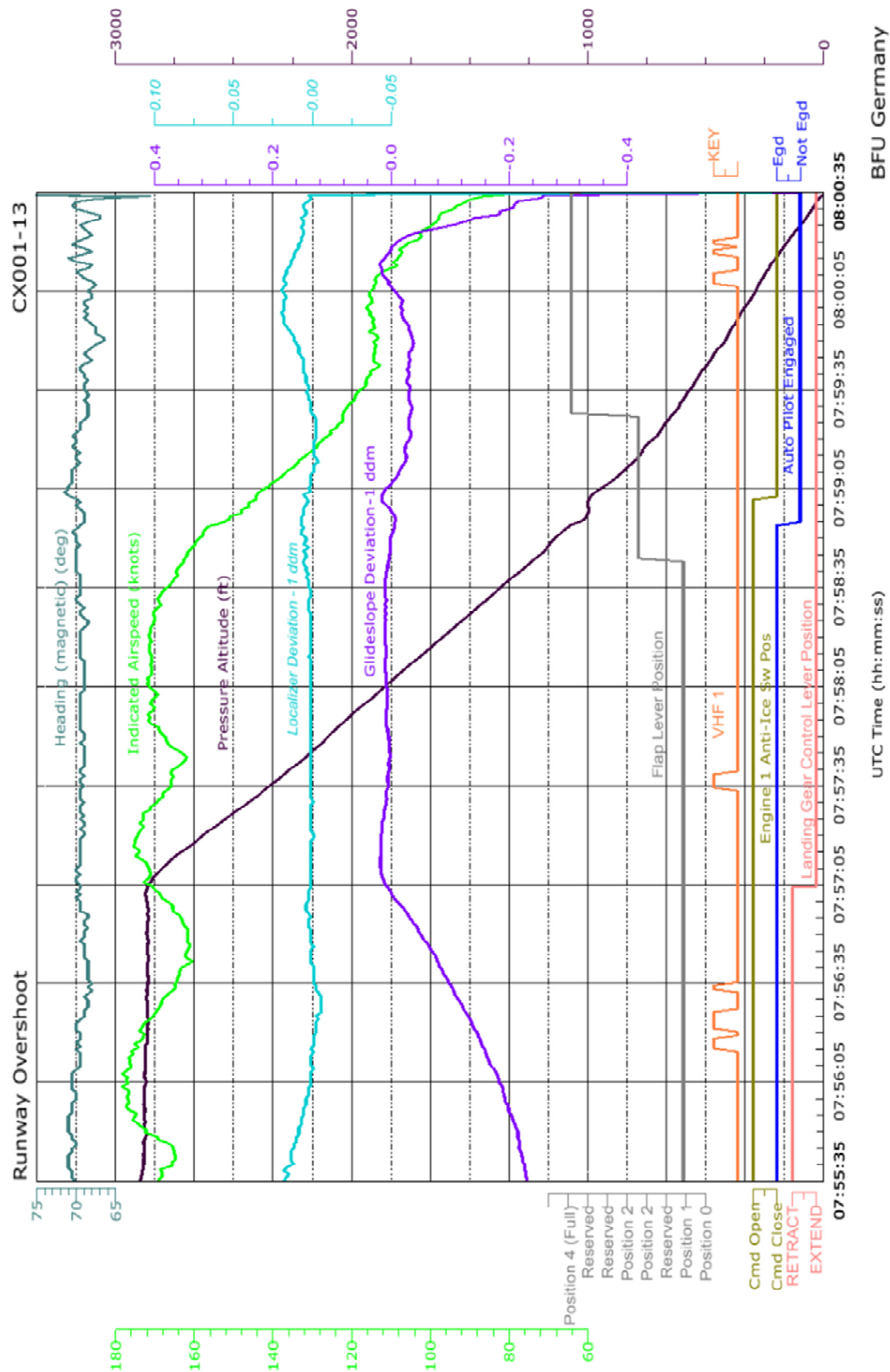
5. Anlagen

Auszug Flugschreiberdaten

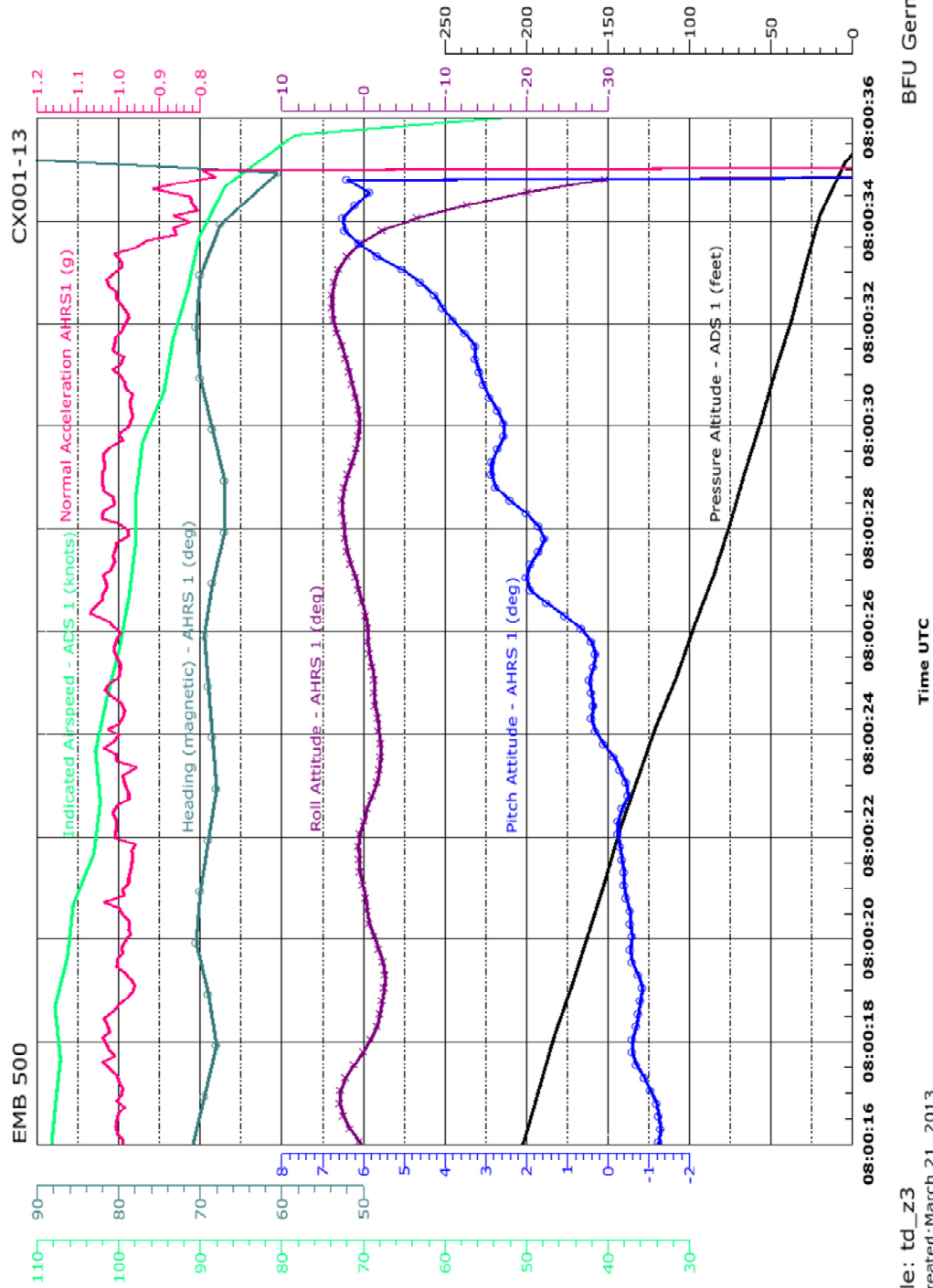
Übersicht gesamter Flug



Endanflug



Letzte Phase



file: td_z3
Created: March 21, 2013
Revised: March 21, 2013

BFU Germany