

Untersuchungsbericht

Identifikation

Art des Ereignisses: Unfall
Datum: 08.08.2017
Ort: Bodensee

Luftfahrzeug: Flugzeug
Hersteller: The New Piper Aircraft
Muster: PA-46-350P

Personenschaden: Pilot und Fluggast tödlich verletzt
Sachschaden: Luftfahrzeug zerstört
Drittsschaden: keiner

Aktenzeichen: BFU17-1048-CX

Kurzdarstellung

Auf einem Flug nach Instrumentenflugregeln geriet das Flugzeug im Steigflug - unter Vereisungsbedingungen und Turbulenz - in eine unkontrollierte Fluglage. Im anschließenden Sturzflug zerbrach das Flugzeug in mehrere Teile und stürzte in den Bodensee.

Sachverhalt

Ereignisse und Flugverlauf

Das Flugzeug war vom Flughafen Zürich-Kloten, Schweiz, laut Flugplan mit einer geplanten Flugzeit von 2:55 Stunden, zu einem privaten Reiseflug mit dem Ziel Flughafen Hamburg-Fuhlsbüttel gestartet. An Bord befand sich neben dem Piloten eine weitere Person.

Laut Funkaufzeichnung des Flugsicherungsunternehmens in der Schweiz hatte der Pilot um 11:21:30 Uhr¹ die Freigabe für die Piste 28, die Abflugroute DEGES 2W und den Transpondercode A3011 erhalten. Der Start erfolgte um 11:34 Uhr. Um 11:35 Uhr erhielt er die Freigabe für den Steigflug auf FL 120. Um 11:36:56 Uhr wurde dem Piloten der Steuerkurs 070° angewiesen. Nach der Übergabe des Flugzeuges an Swiss Radar erhielt er um 11:41:50 Uhr die Freigabe für den Steigflug auf FL 220.

Um 11:48:01 Uhr erfolgte die Freigabe für den Direktflug zum Pflichtmeldepunkt MINGA. Laut der Radaraufzeichnung hatte das Flugzeug zu diesem Zeitpunkt eine Flughöhe von etwa FL 148 erreicht und die Fluggeschwindigkeit über Grund betrug etwa 160 kt. Bis 11:50:59 Uhr behielt das Flugzeug eine Fluggeschwindigkeit zwischen 161 kt und 156 kt bei und erreichte etwa FL 166.

Um 11:52:25 Uhr befand sich das Flugzeug in FL 134, deshalb rief der Lotse von Swiss Radar den Piloten um 11:52:27 Uhr per Funk, worauf dieser 3 Sekunden später antwortete: „*We have an emerg [...]*“. Laut Funkaufzeichnung war die Stimme des Piloten als laut und hoch wahrgenommen worden. Vier weitere Aufrufe seitens Swiss Radar blieben vom Piloten unbeantwortet (Abb. 1).

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

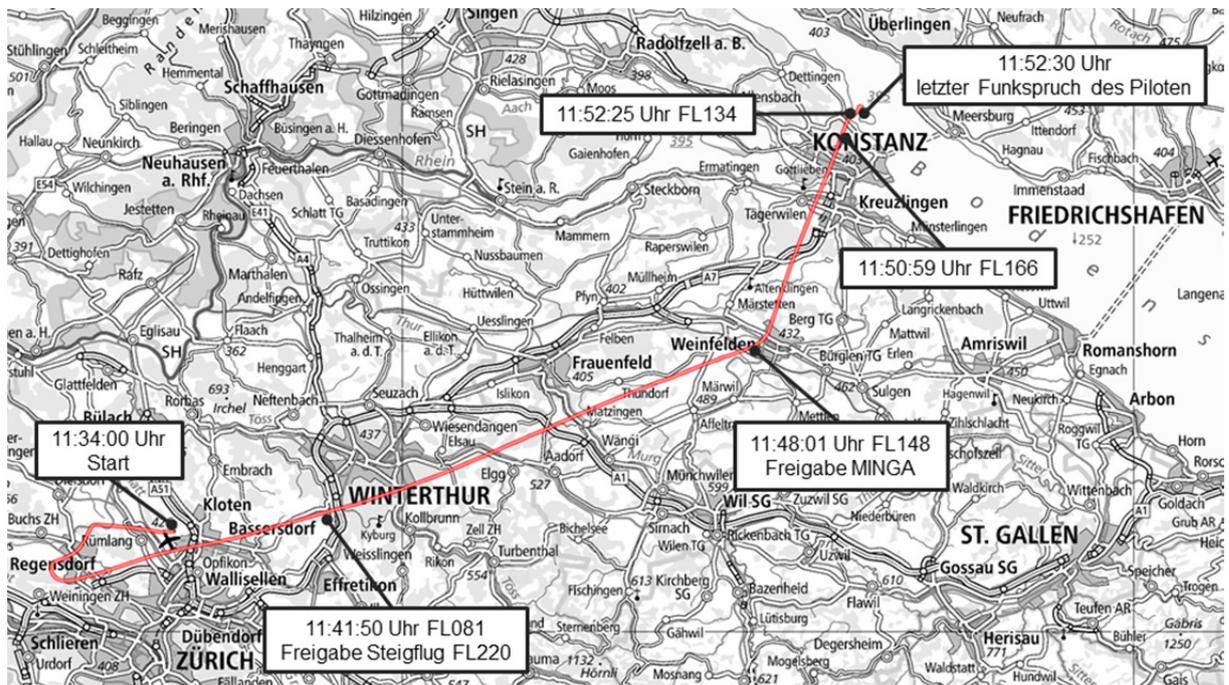


Abb. 1: Radaraufzeichnung (rot) des gesamten Fluges Quelle: Flugsicherungsunternehmen, Bearbeitung BFU

Zeugen beobachteten das Flugzeug, als es senkrecht nach unten stürzend und sich um die Längsachse nach rechts drehend unterhalb der Wolkenbasis auftauchte. Die Videoaufzeichnung eines Zeugen zeigt das Abbrechen der linken Tragfläche und den als Kraftstoffwolke aus dem linken Flächentank austretenden Kraftstoff. Es folgte der Bruch der rechten Tragfläche, ebenfalls erkennbar am Kraftstoffnebel, der als Streifen aus dem Flächentank austrat (Abb. 2). Dem Video waren außerdem laute Propellergeräusche zu entnehmen.



Abb. 2: Videoausschnitt, Flugzeug im Sturzflug unmittelbar vor dem Aufprall auf der Wasseroberfläche

Quelle: Zeuge

Der Aufprall auf die Wasseroberfläche des Bodensees erfolgte nordwestlich der Insel Mainau (Abb. 3). Die beiden Insassen wurden tödlich verletzt. Die Wrackteile des Flugzeuges wurden auf dem Grund des Bodensees in 50 m Wassertiefe lokalisiert.



Abb. 3: Wasserfontäne beim Aufprall des Flugzeuges (links unten), abgerissene Tragfläche (roter Kreis) im freien

Fall

Quelle: Zeuge

Angaben zu Personen

Der 75-jährige verantwortliche Luftfahrzeugführer war im Besitz einer Berufspilotenlizenz CPL(A) der Schweiz, erstmalig ausgestellt am 17.02.1992.

Die Lizenz beinhaltete das Recht, den Sprechfunk in deutscher und englischer Sprache zu führen und folgende Klassen- bzw. sonstigen Berechtigungen:

- SEP(land), gültig bis zum 31.12.2017
- Night, ohne Befristung
- IR(A), gültig bis zum 31.12.2017

Sein flugmedizinisches Tauglichkeitszeugnis Klasse 2 war mit der Auflage VML² bis zum 13.04.2018 gültig.

Laut seinem persönlichen Flugbuch betrug die Gesamtflugerfahrung 2 236 Stunden, wovon er 1 851 Stunden nach IFR geflogen war. In den letzten 5 Jahren war er auf dem betroffenen Muster 200 Stunden unter IFR geflogen, bei 100 Starts und Landungen. In den letzten 90 Tagen hatte er 5 Flüge unter IFR mit einer Flugzeit von 12 Stunden absolviert.

Bis 2014 besaß er außerdem eine Berechtigung für das Flugzeug Pilatus PC 12.

Angaben zum Luftfahrzeug

Allgemeine Angaben

Das sechssitzige Flugzeug PA-46-350P ist ein in Metallbauweise hergestellter Tiefdecker mit einziehbarem Dreibein-Fahrwerk in Bugradanordnung. Es ist ausgestattet mit einer Druckkabine, einem turbogeladenen Kolbentriebwerk und einem hydraulisch verstellbaren 4-Blatt-Propeller. Die Steuerung erfolgt konventionell mittels Seile und wird manuell betätigt.

Die Dienstgipfelhöhe beträgt 25 000 ft AMSL, die V_{NE} wurde mit 198 KIAS und die V_A^3 mit 133 KIAS angegeben (Abb. 4).

² Brille zur Korrektur der Sehschärfe für Ferne, Zwischendistanz und Nähe

³ Design maneuvering speed

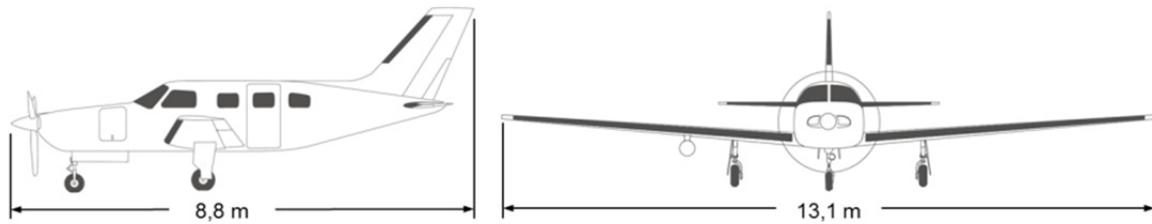


Abb. 4: Zweiseitenansicht PA-46-350P

Quelle: Hersteller, Bearbeitung BFU

Das Flugzeug kann mit einem Ice Protection System von Collins Aerospace (Goodrich) ausgerüstet werden und ist dann zugelassen für Flüge in bekannten Vereisungsbedingungen.

Im POH⁴ Section 9, im Supplement 3 Section 4 – Normal Procedures ist folgendes festgelegt:

- *The Piper Malibu is approved for flight into known icing conditions when equipped with the complete Piper Ice Protection System. Operating in icing conditions of Continuous Maximum and Intermittent Maximum as defined in FAR 25, Appendix C has been substantiated; however, there is no correlation between these conditions and forecasts of reported "Light, Moderate and Severe" conditions. Flight into severe icing is not approved.*

An den Tragflächen und an der Höhen- sowie der Seitenflosse sind dann pneumatische Boots verbaut. Ein Pilot bedient das System, indem er eine Taste drückt und somit ein Cycle ausgelöst wird. Dabei werden zuerst die Boots am Leitwerk und danach an den Tragflächen aufgeblasen. Anschließend saugt das System die Luft ab und der Cycle ist beendet. Die Stallwarning ist beheizt und bleibt normal bestehen. Laut Propellerhersteller ist der Propeller mit einer elektrischen Enteisung ausgestattet. Für den Propeller liegt ein STC⁵ der EASA vor.

Dem POH war außerdem folgender Warnhinweis zu entnehmen:

- *CAUTION - If cruise airspeed drops below 130 knots in icing conditions increase power to maintain 130 knots. If maximum continuous power is required*

⁴ Pilot's Operating Handbook

⁵ Supplemental Type Certificate

to maintain 130 knots immediate action should be taken to exit icing conditions.

Neben der konventionellen Instrumentierung war das Flugzeug mit einem GPS-System Garmin GNS 530/GNS 430, einer Wetterradaranlage Bendix King RDR-2000⁶ und einem Stormscope BFG WX-1000+⁷ ausgestattet.

Außerdem war im Flugzeug ein Bendix King KFC 150 Flight Control System installiert. Diese Autopilotanlage zuzüglich eines kompletten Flight Director Systems bot folgende Funktionen: ALT Hold, ALT Preselect, Heading Preselect, Heading Select, NAV (VOR/RNAV), Approach, Glideslope, Back Course, Control Wheel Steering, Vertical Trim, Auto Capture, Auto Track, All Angle.

Laut POH, Paragraph 4.43 – Turbulent Air Operation, ist unter Turbulenz wie folgt zu verfahren:

- *In keeping with good operating practice used in all aircraft, it is recommended that when turbulent air is encountered or expected, the airspeed be reduced to maneuvering speed to reduce the structural loads caused by gusts and to allow for inadvertent speed build-ups which may occur as a result of the turbulence or of distractions caused by the conditions (Refer to paragraph 2.3 for maneuvering speeds).*

Angaben zum betroffenen Flugzeug

Das betroffene Flugzeug war in der Schweiz zum Verkehr zugelassen und wurde von einem privaten Halter betrieben.

Hersteller:	The New Piper Aircraft Inc.
Muster:	PA-46-350P
Werknummer:	4636045
Baujahr:	1996
Leermasse:	1 402 kg
Höchstzulässige Startmasse:	1 950 kg
Triebwerk:	Lycoming TIO-540-AE2A (S/N RL-4281-61A)

⁶ Das RDR-2000 stellt die Wetterintensität in verschiedenen Farben dar und hilft dem Piloten, Gefahren zu erkennen.

⁷ Das WX 1000+ hilft dem Piloten, Gewitteraktivitäten zu erkennen.

Propeller: MTV-14-D / 195-30b (S/N 100829) gem. EASA
STC 10034434

Das Flugzeug war entsprechend dem POH, Supplement 3 – Ice Protection System, ausgerüstet.

Die letzte Bescheinigung über die Prüfung der Lufttüchtigkeit wurde am 03.08.2016 ausgestellt und war bis zum 06.10.2017 gültig.

Die letzte technische Kontrolle, eine 50-Stunden-Kontrolle, wurde am 01.08.2017 bei einer Betriebszeit von 2 408 Stunden durchgeführt. Die letzte 100-Stunden-Kontrolle fand am 25.01.2017 bei einer Betriebszeit von 2 375 Stunden statt.

Bei der Unfalluntersuchung wurden am Betriebsstundenzähler 2 408,8 Stunden abgelesen.

Die Beladung des Flugzeuges konnte nur zum Teil ermittelt bzw. geschätzt werden. Laut Tankbescheinigung wurde das Flugzeug am Unfalltag mit 241 l (173 kg) Avgas betankt. Die Gesamtmenge des an Bord befindlichen Kraftstoffs konnte nicht ermittelt werden. Im Flugplan hatte der Pilot die Zeit, die mit dem verfügbaren Kraftstoff geflogen werden kann, mit 4:30 Stunden angegeben. Das entspräche einer Kraftstoffmenge von bis zu 350 l (251 kg). Die ausfliegbare Kraftstoffmenge betrug 454 l (326 kg). Die bei der Obduktion festgestellte Masse des Piloten betrug 90 kg. Die Masse der zweiten Person wurde mit etwa 70 kg geschätzt. Die Masse des mitgeführten Gepäcks konnte nicht ermittelt werden. Da die beiden Insassen eine dreitägige Reise geplant hatten, wurden pauschal 20 kg angenommen. Daraus ergab sich ein Näherungswert für die Zuladung (251 kg + 90 kg + 70 kg + 20 kg) von 431 kg.

Meteorologische Informationen

Für die Flugunfalluntersuchung wurde der DWD⁸ mit der Erstellung eines amtlichen meteorologischen Gutachtens beauftragt.

Wetterbriefing

Laut dem Gutachten wurden am 07.08. und 08.08.2017 unter dem persönlichen Account des Piloten insgesamt zu 3 unterschiedlichen Zeiten Wetterdaten aus dem Pilotenbriefingportal SKYBRIEFING abgerufen:

⁸ Deutscher Wetterdienst

Wetterdatenabruf am 07.08.2017 zwischen 15:26 und 15:28 UTC

Dabei wurden die Mid/High Level SWC⁹ Europa sowie die entsprechenden Wind- und Temperaturkarten des WAFC¹⁰ London aufgerufen. Es erfolgte keine Dokumentation, von welchen Vorhersagezeiten oder Flugflächen Karten angesehen wurden. Der aktuellste verfügbare SWC- und Wind-/Temperatur-Kartensatz zu diesem Zeitpunkt war der Vorhersagetermin am 08.08.2017 um 06 UTC.

Wetterdatenabruf am 07.08.2017 zwischen 19:38 und 19:42 UTC

Dort wurden zum einen METAR- und SPECI-Meldungen¹¹ sowie TAF-Vorhersagen von Flugplätzen und die Low Level SWC des DWD abgerufen. Zum anderen wurde erneut die Mid/High Level SWC Europa sowie die entsprechenden Wind- und Temperaturkarten des WAFC London aufgerufen. Es erfolgte keine Dokumentation, welche Flugplätze und von welchen Vorhersagezeiten oder Flugflächen Karten angesehen wurden. [...] Der aktuellste verfügbare SWC- und Wind-/Temperatur-Kartensatz zu diesem Zeitpunkt war der Vorhersagetermin am 08.08.2017 um 12 UTC.

Wetterdatenabruf am 08.08.2017 zwischen 07:45 und 07:49 UTC

Es wurden erneut METAR- und SPECI-Meldungen sowie TAF-Vorhersagen von Flugplätzen und Mid/High Level SWC Europa sowie die entsprechenden Wind- und Temperaturkarten des WAFC London abgerufen. [...] Der letzte veröffentlichte SWC- und Wind-/Temperatur-Kartensatz zu diesem Zeitpunkt war der Vorhersagetermin am 09.08.2017 um 00 UTC. [...]

Ergebnisse des meteorologischen Gutachtens**Vorhersage und Wetter zum Unfallzeitpunkt**

Die für die Flugvorbereitung zur Verfügung stehenden Informationen für den 08.08.2017 um 06, 09 und 12 UTC zeigten, dass für den größten Teil der Flugstrecke Zürich-Kloten (LSZH) - Hamburg-Fuhlsbüttel (EDDH) mit signifikanten Wettererscheinungen in Form von Regen und Regenschauern sowie einzelnen in die Bewölkung eingelagerten Gewittern gerechnet werden musste. Außerdem prognostizierten die vorliegenden SWC-Karten entlang der Flugstrecke Beeinträchtigungen durch

⁹ Significant Weather Chart

¹⁰ World Area Forecast Center

¹¹ Special Report

Vereisung und Turbulenz. Zusätzlich gab auch die ADWICE-Vorhersage¹² des DWD deutliche Hinweise auf die zu erwartenden Vereisungsbedingungen. Die Höhenwindvorhersagen ließen meist einen Wind aus Süd bis Südwest bis FL 100 mit 10 bis 30 Knoten und zwischen FL 180 und FL 240 mit 30 bis 45 Knoten erwarten. Für den geplanten Landezeitpunkt musste gemäß der TAF-Vorhersage von EDDH von keinen Einschränkungen während der Instrumentenlandung ausgegangen werden. Im Vorfeld des Fluges wurden zwei SIGMET-Warnungen des Schweizerischen Wetterdienstes MeteoSchweiz veröffentlicht, die vor in die Bewölkung eingelagerte Gewitter im Luftraum „Switzerland FIR/UIR“ warnten. Davon war die Flugstrecke Zürich-Hamburg jedoch nicht unmittelbar betroffen.

Die tatsächlich eingetroffenen Flugwetterbedingungen auf der Flugstrecke LSZH-EDDH lagen für die näher betrachtete Teilstrecke Zürich-Bodensee sehr nahe an den geschilderten Vorhersagen. Das beobachtete Wettergeschehen im Bereich der Konvergenzlinie und des Frontensystems wurde gut in den vorliegenden flugmeteorologischen Unterlagen vorhergesagt.

Zusammenfassend wurden am 08.08.2017 gegen 09.53 UTC am Ort des Flugunfalls nahe Konstanz die folgenden Flugwetterbedingungen angetroffen. Die meteorologische Sicht betrug etwa 30 km und es trat laut den Niederschlagsradarmessungen kein Niederschlag auf. Die Hauptwolkenuntergrenze befand sich in etwa 11.000 ft AMSL. Darunter wurde in Konstanz 1 Achtel Cumulusbewölkung in 2000 ft AGL beobachtet. Die Nullgradgrenze lag zwischen FL110 und FL120. [...] Der Bodenwind kam aus West mit etwa 8 Knoten. Die Lufttemperatur betrug am Boden etwa 22 °C. Es waren keine flugmeteorologischen Warnungen für den Raum Bodensee veröffentlicht.

Vereisungsbedingungen

Das Luftfahrzeug war um 09:34 UTC vom Flughafen Zürich-Kloten in Richtung Westen gestartet. Zu diesem Zeitpunkt passierte eine Schauerlinie mit leichten bis mäßigen Niederschlägen, die sich etwa von Schaffhausen bis zum Zürichsee erstreckte, den Flughafen ostwärts (Abb. 5).

¹² Advanced Diagnosis and Warning System for Icing Environments, Vereisungsprognose des DWD, berechnet mit dem ICON-Modell

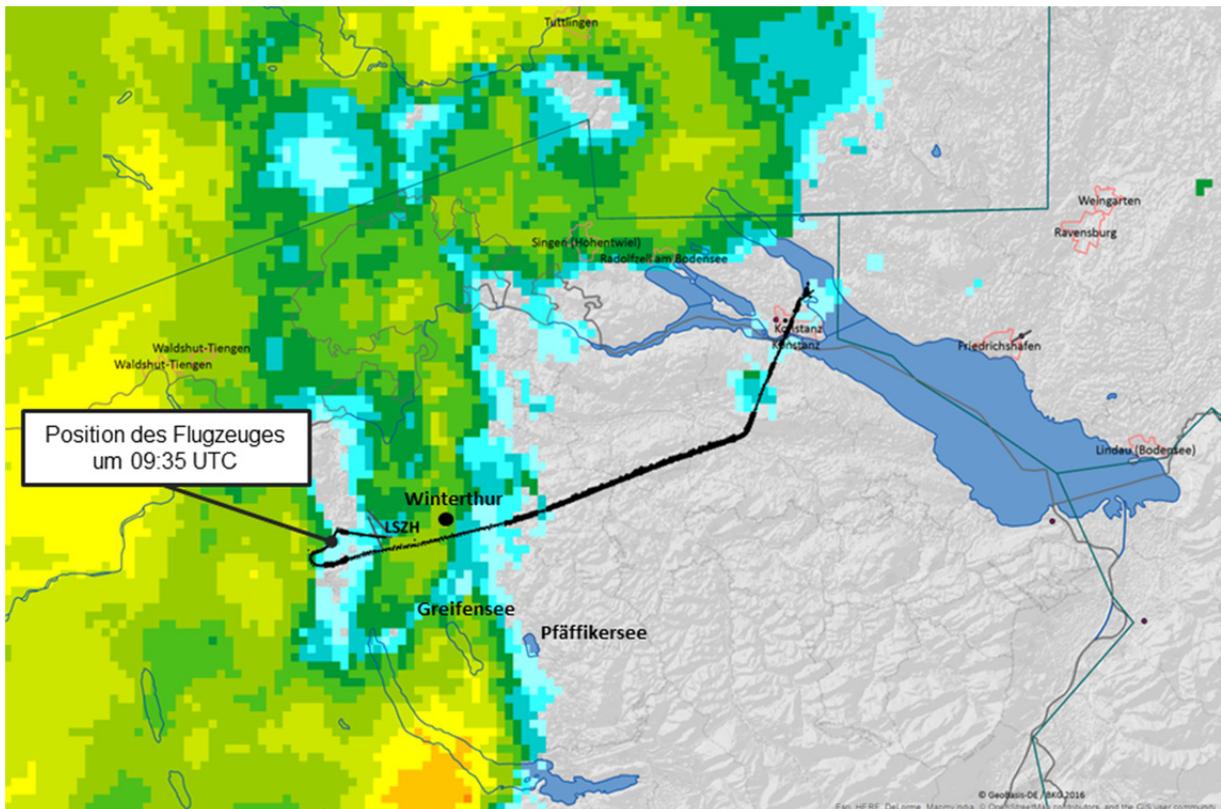


Abb. 5: Niederschlagsradar (Niederschlag farbige) im Bereich der Flugstrecke Zürich-Bodensee (schwarze Linie) um 09:35 UTC
Quelle: DWD

Fünf Minuten später befand sich das Flugzeug in einer Höhe von etwa FL075 und laut der Messung von Idar-Oberstein in einem Temperaturbereich von etwa 8 bis 9 °C. Es hatte bereits einen Schwenk Richtung Ostnordost vollzogen und war südlich des Platzes vorbeigeflogen. Dabei gelangte das Luftfahrzeug an den Westrand der genannten Schauerlinie, wo um 09.40 UTC im Bereich der Position des Luftfahrzeuges leichte Niederschlagsintensität gemessen wurde. Bis 09.45 UTC durchflog es die Schauerlinie ostnordostwärts, da es schneller als die Niederschläge Richtung Osten unterwegs war. Das Flugzeug flog dabei zwischen zwei gut definierten Schauerzellen - eine bei Winterthur und eine zweite südlich von Greifen- und Pfäffikersee - durch. In diesem Bereich der Schauerlinie wurden sowohl um 09.40 UTC als auch um 09.45 UTC leichte bis mäßige Niederschläge gemessen. Etwa um 09.45 UTC erreichte das Luftfahrzeug im Steigflug die Flugfläche FL 120 und passierte damit spätestens zu diesem Zeitpunkt die Nullgradgrenze.

Zwischen 09.45 UTC und 09.50 UTC verließ das Flugzeug den Niederschlagsbereich der Schauerlinie und schwenkte auf einen Nordnordostkurs Richtung Konstanz ein (Abb. 6).

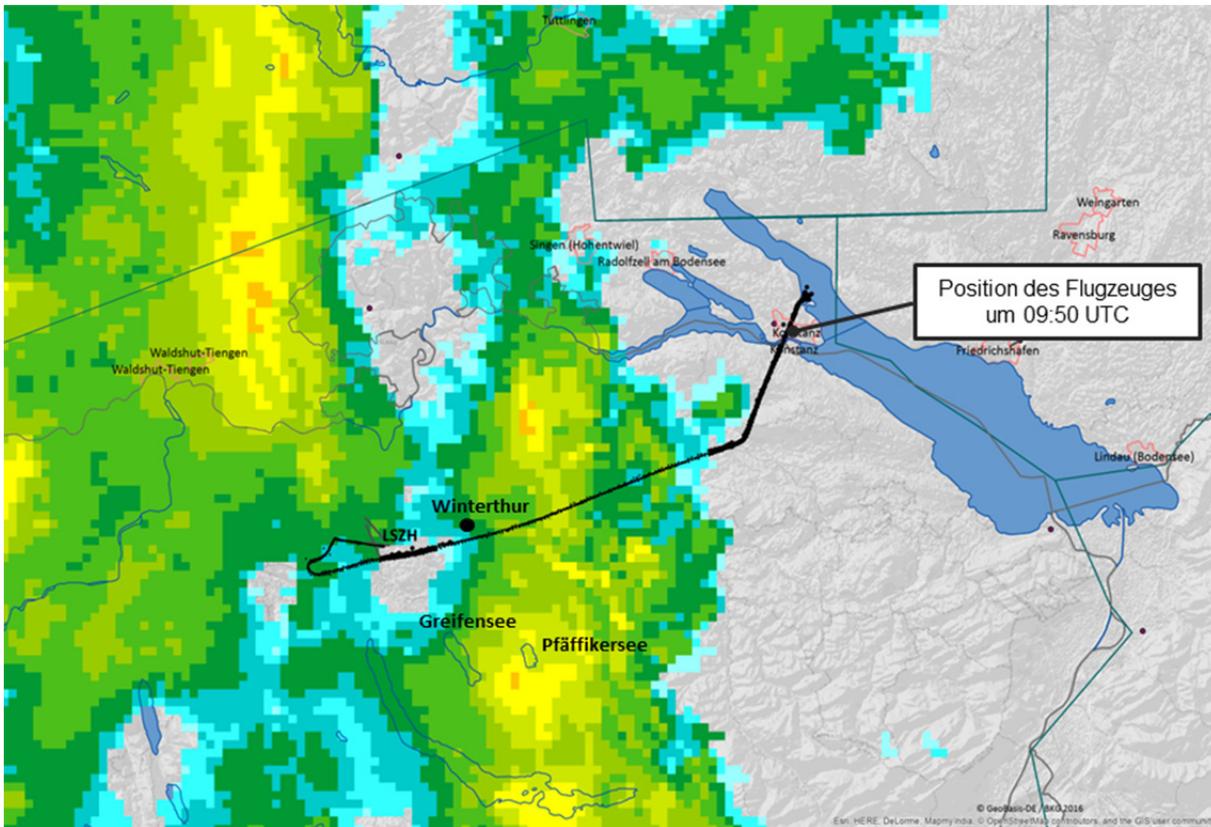


Abb. 6: Niederschlagsradar (Niederschlag farbig) im Bereich der Flugstrecke Zürich Bodensee (schwarze Linie) um 09:50 UTC

Quelle: DWD

Der durchflogene Temperaturbereich betrug etwa 0 bis -8 °C, da um 09.50 UTC etwa FL 155 erreicht wurde. Die Messung von 09.45 UTC zeigte für die restlichen vom Luftfahrzeug zu durchquerenden Niederschläge leichte Intensität an.

Für die Abschätzung der Vereisungsintensität in Konvektionswolken ist vor allem der vorhandene Flüssigwassergehalt im negativen Temperaturbereich der Wolke entscheidend und weniger die gemessene Niederschlagsintensität in Bodennähe. Da in der Nähe des Flugpfades Niederschläge mit starker Intensität gemessen wurden, ist von einer großen Menge Flüssigwassergehalt in der durchflogenen Konvektionsbewölkung auszugehen. Zudem ist im Temperaturbereich von 0 bis -10 °C der Gehalt von unterkühltem Flüssigwasser hoch, da der Übergang in die Eisphase erst begonnen hat. Diese beiden Tatsachen sprechen dafür, dass es in dem von dem Luftfahrzeug durchflogenen Bereich sehr wahrscheinlich zu mäßiger bis starker Vereisung gekommen ist. Darüber hinaus kann Turbulenz innerhalb der Konvektionswolken

durch vermehrten Zusammenstoß von Wolkentropfen zu „supercooled large droplets“ SLD führen. Daher ist auch das Auftreten von starker Vereisung durchaus wahrscheinlich.

Turbulenz

Die Messungen in der Schauerlinie, die sich etwa von Schaffhausen bis zum Zürichsee erstreckte, ergaben Werte bis hin zu starkem Niederschlag. Das bedeutet, dass sich innerhalb dieser Linie mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit TCU- und CB-Wolken ausgebildet hatten. Verursacht durch starke Auf- und Abwinde innerhalb dieser Konvektionswolken tritt dort, wo diese Bereiche eng beieinander liegen, starke Turbulenz auf. Daher ist es sehr wahrscheinlich, dass es auch im Bereich des Flugweges in der Schauerlinie - die Randbereiche zählen dabei ausdrücklich dazu - zu mäßig bis starker oder starker Turbulenz gekommen ist.

Ein starkes Indiz dafür liefern auch die Ergebnisse der Vorhersage des EDP¹³. Dort hatte die Auswertung der 10 UTC-Vorhersagekarten ergeben, dass starke und extreme Turbulenz im Bereich der Teilstrecke Zürich-Bodensee ab der Flugfläche FL130 bis einschließlich FL165 prognostiziert wurde. Diesen Höhenbereich hat das Luftfahrzeug laut den Radaraufzeichnungen zwischen 09.46 und 09.51 UTC passiert - also kurz vor dem rapiden Höhenverlust beginnend in FL168. Die Ausdehnung der vorhergesagten EDP ab einem Wert von $0,35 \text{ m}^{2/3}/\text{s}$ zeigt, dass dieses Turbulenzgebiet im Zusammenhang mit der Konvergenzlinie steht, die in der Bodenanalyse östlich des Frontensystems eingezeichnet ist.

¹³ Ein Element, welches ein Maß für die turbulente kinetische Energie (TKE) der Atmosphäre ist und im DWD mit dem ICON-Modell¹³ berechnet wird, heißt „Eddy Dissipation Parameter“ (EDP). Dieser Parameter bildet Luftwirbel, die Flugzeugturbulenz verursachen, räumlich ab. Dabei werden folgende Ursachen von Turbulenz berücksichtigt: horizontale und vertikale Windscherung (Clear Air Turbulence); Wolkenturbulenz sowie durch Wolken und Konvektion erzeugte Turbulenz; Reibung bzw. Ablösung an/von Gebirgen (Mountain waves). Da unterhalb von FL 100 die Beeinträchtigung der atmosphärischen Grenzschicht zu groß wird, wird der EDP erst ab einer Druckfläche von 700 hPa (entspricht FL 100) berechnet. Er besitzt die Einheit $\text{m}^{2/3}/\text{s}$. Nach Verifikation und Evaluierung mittels Luftfahrzeugmeldungen [...] über Nordamerika und Europa, wo auch die Größe der Flugzeuge berücksichtigt wurde, wurden bestimmte Schwellenwerte für die Intensität der Flugzeugturbulenz festgelegt. Der Flugwetterdienst des DWD verwendet den EDP operationell für die Turbulenzvorhersage. Daher werden die Ergebnisse der EDP-Vorhersage vom 08.08.2017 als relevant angesehen.

Funkverkehr

Der Funkverkehr zwischen dem Piloten und den Flugverkehrskontrollstellen wurde von 11:21:30 Uhr bis 11:54:13 Uhr aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen, wie im Abschnitt ‚Flugverlauf‘ dargestellt, enthielten relevante Informationen hinsichtlich des Flugverlaufes.

Flugdatenaufzeichnung

Der BFU lagen die Flugwegaufzeichnungen des schweizerischen und des deutschen Flugsicherungsunternehmens sowie die Aufzeichnungen der Bundeswehr zur Auswertung vor. Im Rahmen der Flugweganalyse wurden die letzten Minuten des Fluges zwischen 09:50:59 und 09:53:34 UTC betrachtet (Abb. 7).

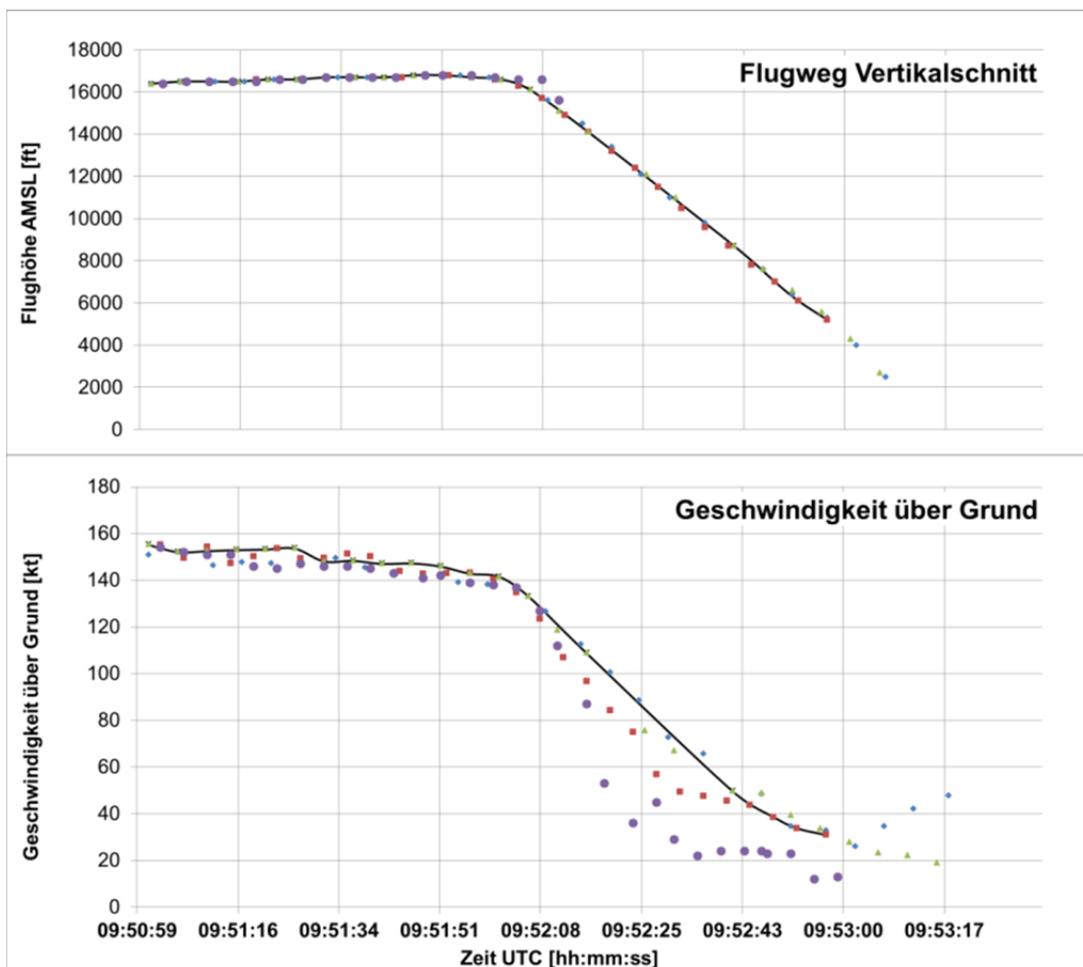


Abb. 7: Flugweganalyse, die verschiedenfarbigen Punkte sind die Daten verschiedener Radarstationen

Quelle: Radardaten, Bearbeitung BFU

Aus dem Vertikalschnitt geht hervor, dass das Flugzeug innerhalb von etwa 80 Sekunden ca. 16 500 ft an Höhe verlor. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Sinkrate von etwa 12 400 ft/min (63 m/s).

Als der Pilot um 11:52:25 Uhr (09:52:25 UTC) auf den Swiss Radar Funkspruch mit den Worten „*We have an emerg [...]*“ antwortete, befand sich das Flugzeug bereits in Sturzfluglage.

Die Geschwindigkeitsanalyse laut der Radardaten ergab, dass zwischen 09:50:59 und 09:52:08 UTC die Geschwindigkeit über Grund von etwa 156 kt auf etwa 130 kt zurückging. In diesem Zeitfenster blieb die Flughöhe annähernd konstant (vergl. „Flugweg Vertikalschnitt“ mit „Geschwindigkeit über Grund“ in Abb. 7). Der anschließende Sturzflug hatte aufgrund der hohen Sinkrate eine starke Abnahme der horizontalen Geschwindigkeitskomponente zur Folge. Die Streuung der Radardaten und fehlende Daten z.B. zur Fluglage, erlauben keine detaillierte Analyse des Sturzfluges.

Unfallstelle und Feststellungen am Luftfahrzeug

Das Wrack des Flugzeuges wurde etwa 1 100 m nordwestlich des Hafens der Insel Mainau im Bodensee in 50 m Wassertiefe mittels Einsatz eines Tauchroboters lokalisiert (Abb. 8). Das Trümmerfeld hatte eine Ausdehnung von etwa 20 x 20 m. Der Seeboden war in diesem Bereich wenig strukturiert. Etwa 70 m südlich des Trümmerfeldes wurden Tragflächenteile des Flugzeuges lokalisiert.

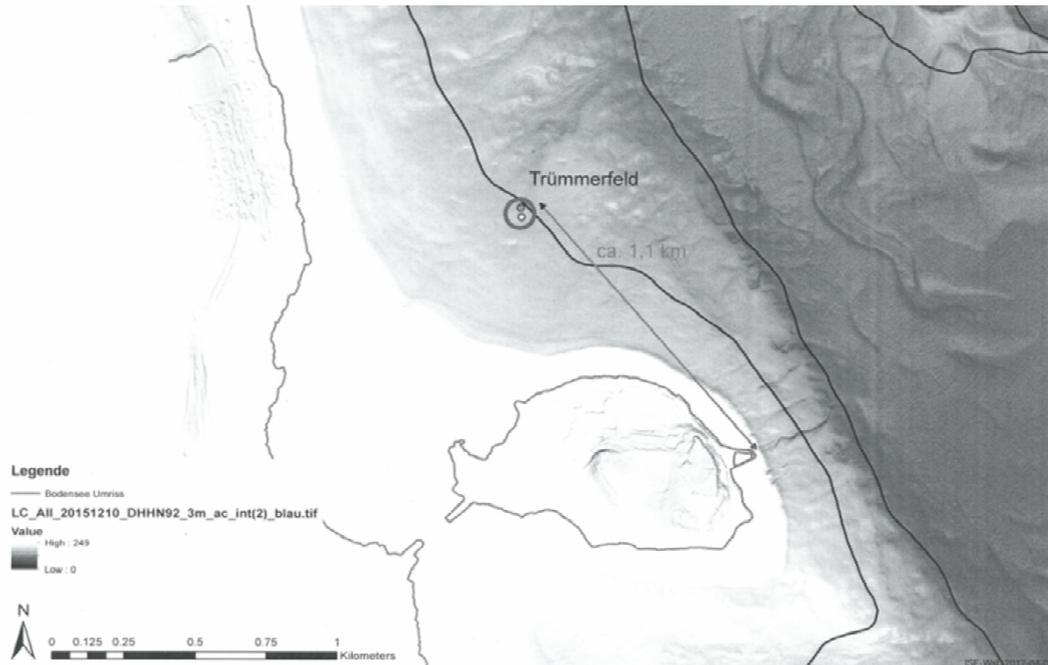


Abb. 8: Lage der Wrackteile (Trümmerfeld) des Flugzeuges in 50 m Wassertiefe

Quelle: Polizei

In dem Trümmerfeld konnte das Hauptwrack, Kabine und Rumpf, identifiziert werden (Abb. 9).



Abb. 9: Lokalisation und Identifizierung des Hauptwracks in 50 m Wassertiefe

Quelle: Polizei

Die geborgene Kabine und der Rumpf zeigten im Bereich des Cockpits, in den seitlichen Beplankungspartien sowie im leitwerksnahen Rumpfteil starke Stauchungsfalten. Die Kabine selbst war zerstört (Abb. 10). Die beiden Leichen wurden im Cockpit vorgefunden.

Aufgrund des hohen Zerstörungsgrades konnten keine relevanten Feststellungen hinsichtlich der Instrumenten-Anzeigen sowie der Schalter- und Hebelstellungen getroffen werden.



Abb. 10: Bergung des Hauptwracks

Quelle: BFU

Medizinische und pathologische Angaben

Die Obduktion der Leiche des Piloten ergab als Todesursache ein Polytrauma. Es ließen sich keine morphologischen Ursachen feststellen, die eine etwaige krankheitsbedingte Fluguntauglichkeit hätten beweisen können.

Brand

Es gab keinen Hinweis auf ein Feuer im Fluge.

Zusätzliche Informationen

Luftfahrzeugvereisung im Flug

Luftfahrzeugvereisung im Flug ist bei Flügen in Wolken oder Niederschlag bei niedrigen Temperaturen eine erhebliche Gefahr. Flugunfälle im Zusammenhang mit Vereisung im Flug treten häufig auf. Dies führte in der Vergangenheit zu einer Fülle von Studien und Publikationen zu diesem Thema. Nachfolgend eine exemplarische Auswahl:

- Aircraft Icing Handbook, Civil Aviation Authority New Zealand
- Flight in Icing Conditions Summary, French Civil Aviation Authority (Direction générale de l'aviation civile)
- Aircraft Icing, AOPA Air Safety Foundation
- Flight in Icing Conditions, Federal Aviation Administration, USA
- The Adverse Aerodynamic Effects of Inflight Icing on Airplane Operation, TP185 - Aviation Safety Letter, Transport Canada

Vorraussetzung für Vereisung im Flug sind Wassertropfen (unterschiedlichster Größe, von schwebenden Tröpfchen in Wolken bis Niederschlag) und eine niedrige Lufttemperatur. Vereisung kann im Temperaturbereich um 0 °C bis -40 °C auftreten.

Generell werden 3 Arten von Eisbildung an Luftfahrzeugen unterschieden: Klareis (clear ice), Raueis (rime ice) und Mischeis (mixed ice).

Die Stärke der Vereisung bzw. die Menge an Eisansatz in Bezug auf eine Zeitspanne wird wie folgt klassifiziert (Auszüge aus Flight in Icing Conditions, Chapter 4. Icing Severity Index):

- *Trace: Ice becomes perceptible and it can barely be seen. The rate of ice accumulation is slightly greater than the rate of sublimation. Trace ice is not hazardous even without use of deicing/anti-icing equipment, unless the conditions are encountered for an extended period of time (over 1 hour)*
- *Light: The rate of accumulation of light icing may create a problem if flight is prolonged in this environment (over 1 hour). Occasional use of deicing/antiicing equipment removes or prevents its accumulation*
- *Moderate: The rate of accumulation of moderate icing is such that even short encounters become potentially hazardous and the use of deicing/anti-icing equipment or a flight diversion is necessary.*

- *Severe: The rate of accumulation is such that deicing/anti-icing equipment fails to reduce or control the accumulation. The only thing to do is conduct an immediate flight diversion*
- *The rate at which ice builds up depends on the atmospheric conditions, but the shape of the object on which it builds affects both the rate and the severity of the ice buildup. Ice tends to build first on parts of the airframe with a low radius of curvature, so it will for example tend to form on the tailplane before the wing, and small protuberances like a temperature probe or door stop may well see the first indication of icing. In severe icing conditions, the ice accretion can become critical within a few minutes.*

Luftfahrzeugvereisung kann vielfältige Einschränkungen und Gefahren für die Flugdurchführung verursachen (Auszüge aus Flight in Icing Conditions, Chapter 3. Aerodynamics Degradation):

- *Ice causes: a reduction of lift, a reduction of stall angle, an increase in drag, a modification of longitudinal and lateral stability*
- *Even a small amount of roughness on airfoil leading edge can deteriorate stall characteristics*
- *Flow separation caused by ice can also cause a loss of effectiveness (or a command inversion) of control surfaces (ailerons and elevators)*

Moderate to severe ice accrual creates entirely new, unpredictable aerodynamic flow over the wings and tail. Airfoil shape, aerodynamic flow, the relationship of forces and design logic are all subject to random changes unique to the specific ice encounter.

Neben der bekanntesten Gefahr eines unerwarteten Strömungsabrisses (Stall) aufgrund zu geringer Fluggeschwindigkeit mit vereister Tragfläche, traten bei Flugunfalluntersuchungen in jüngerer Vergangenheit der Strömungsabriss am Leitwerk sowie ein unkommandiertes Rollen um die Längsachse in den Blickpunkt. Diese Gefahren sind kurz zusammengefasst wie folgt beschrieben (Auszüge aus Flight in Icing Conditions, Chapter 7. Aircraft Operation: Effect of Ice on Aircraft):

- *Icing Contaminated Tail Stall (ICTS)*

[...] If tail-plane is contaminated by icing, the stall characteristics are degraded and this maneuver may increase the tail-plane angle of attack beyond tail-plane ice contaminated stall angle of attack. Once the tail-plane is stalled, the tail-plane downward force is reduced and the aircraft will pitch nose down. Considering that this phenomenon may typically happen during approach, the low altitude could annul the effects of any recovery action.

- *Icing contaminated roll upset*

[...] It is a little known and infrequently occurring flight hazard potentially affecting airplanes of all sizes. Roll upset can result from severe icing conditions without the usual symptoms of ice or perceived aerodynamic stall. In some conditions ice accretion on the wing leading edge may form a separation bubble; with the increase of the angle of attack such bubble could extend backward up to the aileron. In this condition an aileron hinge moment reversal could cause the aileron to deflect towards the separation bubble (Aileron "snatch") in aircraft with unpowered control. Aileron "snatch" is a descriptive term that results from an unbalance of aerodynamic forces, at an AOA that may be less than that of the wing stall, that tends to deflect the ailerons away from their neutral position.

Eine von vielen Empfehlungen bei Flügen in Vereisungsbedingungen lautet: *Disengage the autopilot and hand-fly the aeroplane. The autopilot may mask important handling cues, or may self-disconnect and present unusual attitudes or control conditions.*

Zusammenfassend schrieb die Civil Aviation Authority New Zealand¹⁴:

[...] Accident investigators and ice experts believe that autopilot use and pilot training also contribute to icing upsets and accidents, and must be addressed along with boot operating procedures.

The first challenge is to get flight crews to activate de-ice systems early. A lot of the inflight, ice-related accidents and incidents are so vicious, it has become fairly apparent that they occur when de-icing systems are not used. In most of these incidents, the FAA suspect the flight crews were comfortable with some level of accretion and intended to delay the activation of their de-icing systems until they gauged that the ice had reached [the AFM] recommend thickness. [...]

¹⁴ Aircraft Icing Handbook, Chapter 6.3.3 Pneumatic De-Ice-Boots

Beurteilung

Flugverlauf

Vom Start um 11:34 Uhr bis zum Eintreten des laut Radar festgestellten Sinkfluges vergingen etwa 18 Minuten. Die Analyse des Flugweges bis 11:50 Uhr - das Flugzeug hatte bis zu diesem Zeitpunkt etwa FL 166 erreicht - ergab keine Hinweise auf ein Problem im Flug oder ungewöhnliches Verhalten des Flugzeuges.

Der Zeitraum des ermittelten Geschwindigkeitsrückgangs lag zwischen 11:50:59 Uhr und 11:52:08 Uhr. Innerhalb dieser 69 s verringerte sich die Geschwindigkeit um etwa 30 kt auf etwa 130 kt unter Beibehaltung der Flughöhe. Dies wäre typisch für eine entstehende und zunehmende Vereisung am Flugzeug bei gleichzeitig eingeschaltetem Autopiloten, oder dem Versuch des Piloten in Turbulenz die Fluggeschwindigkeit auf die empfohlene V_A von 133 KIAS zu reduzieren.

Das Flugzeug geriet entweder durch aerodynamische Effekte aufgrund des Eisansatzes oder durch einen Steuerfehler in eine nicht mehr kontrollierte Fluglage.

Der dann folgende enorme Höhenverlust bei einer durchschnittlichen Sinkrate von 12 400 ft/min (63 m/s) spricht für einen vollständigen Kontrollverlust über das Flugzeug (Abb. 11).

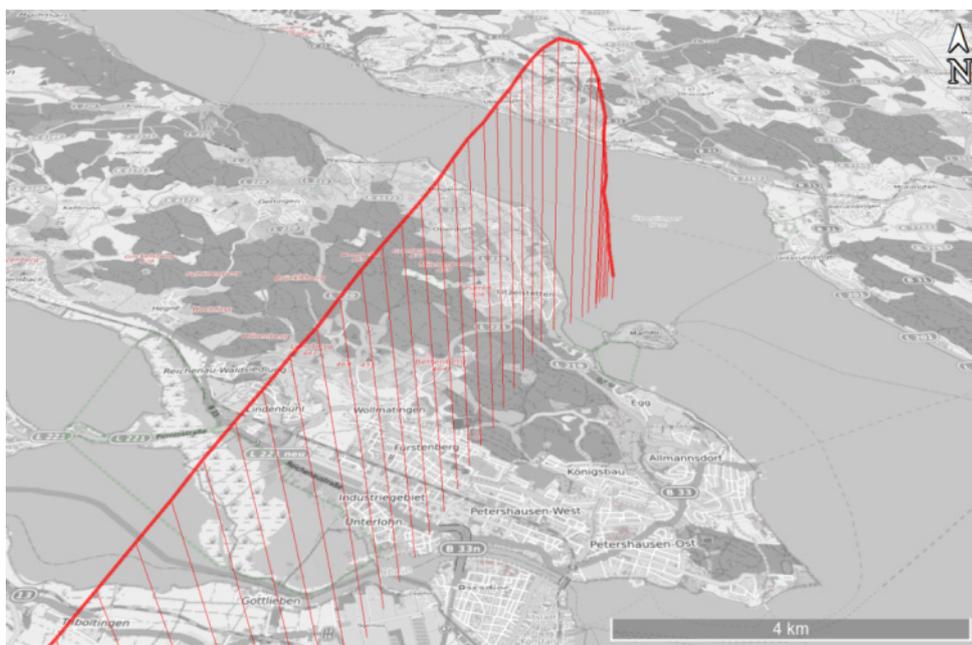


Abb. 11: Flugweg im Zeitraum von 11:50 bis 11:53 UTC

Quelle: Radardaten, Bearbeitung BFU

Auf den Funkspruch des Radarlotsen um 11:52:27 Uhr, als er sah, dass sich das Flugzeug im Sinkflug befand, reagierte der Pilot 3 Sekunden später mit „*We have an emerg [...]*“. Der Funkspruch brach mitten im Wort ab. Die BFU ist jedoch der Überzeugung, dass es sich um das Wort ‚Emergency‘ gehandelt hat. Auch die Stimmlage des Piloten, laut und hoch, lässt darauf schließen, dass er sich nicht nur in einer Notlage befand, sondern sie auch nicht mehr meistern konnte.

Das Flugzeug befand sich zu diesem Zeitpunkt etwa in FL 120, hatte also bereits mehr als 4 000 ft an Höhe verloren. Auch das bestätigt aus Sicht der BFU die vom Piloten nicht mehr kontrollierte Fluglage. Die BFU schließt daher ein Notsinken, welches zum Beispiel bei einem Ausfall der Druckkabine eingeleitet werden würde, aus.

Laut der Videoaufzeichnung schoss das Flugzeug senkrecht aus der etwa 2 000 ft AGL hohen Wolkenbasis. In den etwa 4 s, in denen das Flugzeug unter der Wolkendecke bis zum Aufprall auf die Wasseroberfläche sichtbar war, rissen die linke und danach die rechte Tragfläche infolge der enormen Strukturbelastungen ab. Das Triebwerk bzw. der Propeller waren laut hörbar.

Pilot

Der Pilot verfügte über die luftrechtlich vorgeschriebene Lizenz und die erforderlichen Berechtigungen. Seine Flugerfahrung, sowohl auf dem Muster, als auch das Fliegen unter Instrumentenflugbedingungen, bewertet die BFU als gut. Unabhängig von dieser allgemeinen Einschätzung geht die BFU davon aus, dass der Pilot keine oder nur eine sehr geringe Erfahrungen hinsichtlich des Fliegens unter den gegebenen Wetterbedingungen hatte.

Es konnte nicht ermittelt werden, ob und wie der Pilot den Vereisungsschutz des Flugzeuges aktiviert oder bedient hat. Es ist sehr wahrscheinlich, dass eine nicht effiziente Nutzung der Vereisungsschutzanlage dazu geführt hat, dass sich innerhalb kurzer Zeit viel Eis an den Tragflächen sowie am Leitwerk ansetzen konnte.

Das Wettergeschehen und die daraus resultierenden flugtaktischen Erwägungen führten zu einem hohen Stresslevel des Piloten.

Luftfahrzeug

Das betroffene Luftfahrzeug war in der Schweiz zugelassen und unterlag einer kontinuierlichen Wartung und Instandhaltung. Aus den technischen Nachweisen ergaben

sich keine Hinweise auf technische Beeinträchtigungen, Störungen an der Steuerung, der Vereisungsschutzanlage oder der Druckkabine. Da bis zum Aufprall laute Triebwerks- bzw. Propellergeräusche auf einem Zeugenvideo aufgezeichnet wurden, schließt die BFU einen Triebwerksausfall aus.

Da vom Grund des Bodensees nur die zerstörte Kabine und Teile des Rumpfes geborgen werden konnte, konnten aus der Wrackuntersuchung keine Rückschlüsse bezüglich der Details des Unfallhergangs und möglicher technischer Ursachen gezogen werden.

Das Flugzeug war für Instrumentenflüge, auch unter Vereisungsbedingungen, umfangreich ausgerüstet. Es konnte aber nicht festgestellt werden, ob der Pilot den Vereisungsschutz des Flugzeuges aktiviert oder entsprechend POH genutzt hat.

Meteorologische Bedingungen

Die meteorologischen Informationen, die der Pilot aufgerufen hatte, zeigen, dass er auf der Flugstrecke Zürich – Hamburg größtenteils mit signifikanten Wettererscheinungen in Form von Regen, Regenschauern und eingelagerten Gewittern rechnen musste. Die ihm vorliegenden SWC-Karten prognostizierten entlang der Flugstrecke außerdem Vereisung und Turbulenz.

Die tatsächlich eingetroffenen Flugwetterbedingungen für den Bereich Zürich - Bodensee stimmten mit den Vorhersagen nahezu überein.

Nach dem Start und bereits auf östlichem Kurs durchflog das Flugzeug von 11:40 Uhr bis 11:45 Uhr eine Schauerlinie mit leichten bis mäßigen Niederschlägen. Etwa um 11:45 Uhr passierte das Flugzeug die Nullgradgrenze. Bis 11:50 Uhr erreichte das Flugzeug eine Höhe mit Temperaturen von bis zu -8 °C. In dieser Zeit und in diesem Temperaturbereich durchflog das Flugzeug Konvektionsbewölkung mit großem Flüssigwassergehalt. Daher kam es in diesem Zeitraum bzw. zwischen FL 120 und FL 155 sehr wahrscheinlich zu mäßiger bis starker Vereisung.

Innerhalb der Schauerlinie, die sich von Schaffhausen bis zum Zürichsee erstreckte, hatten sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit Towering Cumulus- und Cumulonimbuswolken ausgebildet, die starke Turbulenz auslösten. Davon war auch der Flugweg der PA 46 in der Schauerlinie bzw. in dessen Randbereichen betroffen. Die Ergebnisse der EDP-Turbulenz-Vorhersage ergaben, dass im Bereich der Flugflächen 130 bis 165 starke und extreme Turbulenz prognostiziert wurde. Diesen

Höhenbereich hatte das Flugzeug zwischen 09:46:00 Uhr und 09:51:00 Uhr passiert, kurz vor Beginn des rapiden Höhenverlustes.

Schlussfolgerungen

Der Flugunfall ist auf einen Kontrollverlust über das Flugzeug in Instrumentenwetterbedingungen im Steigflug zurückzuführen, in dessen Folge es zu einer Zerlegung des Flugzeuges in der Luft kam.

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit war die Wahl des Flugweges und der Flughöhe, die durch ein Gebiet mit starker Turbulenz und Vereisung führten, ursächlich für den Kontrollverlust.

Untersuchungsführer: Jens Eisenreich
Untersuchung vor Ort: Jens Friedemann, Gerhard Pilz,
Jens Eisenreich
Flugweganalyse: Ekkehart Schubert
Braunschweig, 26.11.2020

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 Zivilluffahrt 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

Mail box@bfu-web.de
Internet www.bfu-web.de