

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST Service suisse d'enquête de sécurité SESE Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

# Schlussbericht Nr. 2359 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über den Unfall des Flugzeuges Bombardier Global 6000, 9H-AMZ,

vom 6. April 2016

Flughafen Genf (LSGG)

# Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht enthält die Schlussfolgerungen der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) über die Umstände und Ursachen des vorliegend untersuchten Flugunfalls.

Gemäss Artikel 3.1 der 10. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 18. November 2010, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt (LFG, SR 748.0), vom 21. Dezember 1948, Stand am 1. Januar 2019, ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Die rechtliche Würdigung der Umstände und Ursachen von Flugunfällen und schweren Vorfällen ist ausdrücklich nicht Gegenstand der Sicherheitsuntersuchung. Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, ein Verschulden festzustellen oder Haftungsfragen zu klären.

Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand gebührend Rechnung zu tragen.

Die deutsche Fassung dieses Berichts ist das Original und daher massgebend.

Alle Angaben beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf den Zeitpunkt des Unfalls.

Alle in diesem Bericht erwähnten Zeiten sind, soweit nicht anders vermerkt, in koordinierter Weltzeit (*Coordinated Universal Time* – UTC) angegeben. Für das Gebiet der Schweiz galt zum Zeitpunkt des Unfalls die mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) als Normalzeit (*Local Time* – LT). Die Beziehung zwischen LT, MESZ und UTC lautet: LT = MESZ = UTC + 2 h.

innaits	sverzeichnis	
Zusan	nmenfassung	5
Unters	suchung	5
Kurzd	arstellung	5
Ursac	hen	6
Sicher	heitsempfehlungen	6
1 Sa	achverhalt	7
	Vorgeschichte und Flugverlauf	7
1.1.1 1.1.2	J	
1.1.3 1.1.4	Flugverlauf	7
	Personenschäden	
1.2.1		_
1.3	Schaden am Luftfahrzeug	10
1.4	Drittschaden	10
	Angaben zu Personen	
1.5.1		
<b>1.6</b> 1.6.1	Angaben zum Luftfahrzeug	
	Meteorologische Angaben	
1.7.1 1.7.2	3	
1.7.3	Astronomische Ängaben	12
1.7.4 <b>1.8</b>	<u> </u>	
	Navigationshilfen  Kommunikation	
1.10.		14
	2 Pistenausrüstung	
<b>1.11</b> 1.11.	Flugschreiber	
1.11.		
1.12	Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle	15
	Medizinische und pathologische Feststellungen	
	Feuer	
1.15	Überlebensaspekte	15
	Versuche und Forschungsergebnisse	
1.16.	1 Simulation der Flugdynamik	15
<b>1.17</b> 1.17.	Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung	
1.17.		
	Zusätzliche Angaben	
1.18. 1.18.	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	

1.18	8.3 Weitere Vorfälle	. 20
1.19	Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken	.21
2 A	Analyse	.22
2.1	Technische Aspekte	.22
2.2	Menschliche und betriebliche Aspekte	
2.2.		
2.2.	.2 Flugbesatzung	. 24
2.2.	.3 Mindeststaffelungsabstände	. 24
3 S	Schlussfolgerungen	.25
3.1	Befunde	25
3.1.		
3.1.	·	
3.1.	.3 Flugverlauf	. 25
3.1.	.4 Rahmenbedingungen	. 26
3.2	Ursachen	.26
4 S	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene	
	snahmen	2122222224252626272727272828
4.1	Sicherheitsempfehlungen	.27
4.1.		
4.2	Sicherheitshinweise	.28
4.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen	.28
Anlag	gen	.30
Anlad	ge 1: Datenauswertung DFDR	.30

# **Schlussbericht**

# Zusammenfassung

Eigentümer Chandler 6000 Aviation LLC, 160 Greentree Drive,

Suite 101, Dover, Delaware 19904, USA

Halter Comlux Malta Ltd., Villa Margherita,

Ta' Xbiex Terrace, Ta' Xbiex XBX 1035, Malta

Hersteller Bombardier Business Aircraft, 200 Côte-Vertu Ouest,

Dorval, Québec, Canada H4S 2A3

Luftfahrzeugmuster BD-700-1A10 (Global 6000)

Eintragungsstaat Malta Eintragungszeichen 9H-AMZ

Ort Piste 05 des Flughafens Genf (LSGG)

Datum und Zeit 6. April 2016, 13:59 UTC

# Untersuchung

Der Unfall ereignete sich am 6. April 2016 um ca. 13:59 UTC. Die Meldung traf um 14:10 UTC ein. Die Untersuchung wurde um 15:00 UTC durch die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) eröffnet. Die SUST informierte die zuständigen Behörden folgender Staaten über den Unfall: Malta, Kanada. Kanada ernannte einen bevollmächtigten Vertreter, der an der Untersuchung mitgewirkt hat.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Beweissicherung vor Ort;
- Aussagen der Cockpitbesatzung;
- Aussagen von Personen, die den Unfall beobachtet haben;
- Datenaufzeichnung des Cockpit Voice Recorder (CVR) und des Digital Flight Data Recorder (DFDR);
- Aufzeichnungen des Sprechfunkverkehrs;
- Radardaten;
- Aufzeichnungen der meteorologischen Verhältnisse.

Der vorliegende Schlussbericht wird durch die SUST veröffentlicht.

# Kurzdarstellung

Die Besatzung des Langstrecken-Geschäftsreiseflugzeuges Bombardier BD-700-1A10 Global 6000, eingetragen als 9H-AMZ, führte nach einem ereignislosen Flug mit Start vom Bodensee-Airport Friedrichshafen (EDNY) einen Anflug mit Hilfe des Instrumentenlandesystems der Piste 05¹ in Genf (LSGG) aus, wo zu diesem Zeitpunkt schwachwindige Wetterbedingungen herrschten. Rund zwei Minuten vor der Landung der 9HAMZ, die sich zu diesem Augenblick in einem stabilisierten Endanflug in einer Entfernung von rund 4 NM von der Pistenschwelle befand, begann ein Verkehrsflugzeug Airbus A319 vom Pistenanfang 05 ihren Startlauf und hob rund 40 Sekunden später von der Piste ab. Die Besatzung der 9H-AMZ überflog

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Zum Zeitpunkt des Unfalls waren die Pistenrichtungen noch mit 05 und 23 bezeichnet.

die versetzte Pistenschwelle 05 auf dem korrekten Anflugprofil und mit der richtigen Referenzgeschwindigkeit und leitete in 10 ft Radarhöhe das Ausschweben ein. Kurz darauf wurde das Flugzeug von einer positiven Windscherung von rund 13 kt erfasst und rollte in eine leichte Querlage nach rechts, der die Besatzung mit einem linken Querruderausschlag entgegensteuerte. Unmittelbar anschliessend führte das Flugzeug eine plötzliche und heftige Rollbewegung um die Längsachse nach links bis auf eine Querlage von 12.1° aus, der die Besatzung sofort mit einem starken, rechten Querruderausschlag entgegenwirkte. Gleichwohl berührte die 9H-AMZ mit der linken Flügelspitze die Piste und setzte in der Folge in annähernd horizontaler Querlage mit dem Hauptfahrwerk auf. Der Aus- und Abrollvorgang von der Piste erfolgte ohne weitere Ereignisse.

Die Insassen der 9H-AMZ wurden nicht verletzt. Das Flugzeug wurde am äusseren Ende des linken Vorflügels beschädigt.

Es entstand kein Drittschaden.

#### Ursachen

Der Unfall, bei dem ein Geschäftsreiseflugzeug mit einer Flügelspitze die Piste berührte (wingtip strike), ist auf eine zu hohe Querlage beim Ausschweben (flare) zurückzuführen. Als wahrscheinlichste Ursache für die hohe Querlage wurde die Wirbelschleppe (wake turbulence) eines vorangehend auf der Piste gestarteten Verkehrsflugzeuges ermittelt, die das Geschäftsreiseflugzeug in eine Rollbewegung um die Längsachse versetzte.

Der Unfall konnte aufgrund eines Zusammenwirkens folgender Faktoren entstehen:

- Schwachwindige Wetterverhältnisse, die den zeitlichen Zerfall von wingtip vortices verzögerten;
- Ein längeres Ausschweben (*prolonged flare*) in Bodennähe, was zu einem Aufsetzen am Ende der Landezone bei geringer Fluggeschwindigkeit führte;
- Ein zu geringer Abstand zwischen der versetzten Pistenschwelle und dem Rotationspunkt<sup>2</sup> eines vorangehend gestarteten Flugzeuges.

#### Sicherheitsempfehlungen

Mit diesem Schlussbericht werden drei Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Punkt, an dem der Abhebevorgang eingeleitet wird und sich die Flugzeugnase hebt.

#### 1 Sachverhalt

# 1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

# 1.1.1 Allgemeines

Der Flug wurde nach Instrumentenflugregeln (*Instrument Flight Rules* – IFR) durchgeführt. Es handelte sich um einen gewerbsmässigen Flug.

Während des gesamten Fluges war der Kommandant (*Pilot in Command* – PIC) als fliegender Pilot (*Pilot Flying* – PF) und der erste Offizier (*First Officer* – FO) als assistierender Pilot (*Pilot Monitoring* – PM) eingesetzt.

# 1.1.2 Vorgeschichte

Das Langstrecken-Geschäftsreiseflugzeug vom Typ BD-700-1A10 (Global 6000) mit dem Kennzeichen 9H-AMZ wurde zwei Tage vor dem Unfall von Saint Louis Downtown Airport (KCPS) nach Malta (LMML) überführt. Am Vormittag des 6. April 2016 hatte der erste Offizier bereits drei Flüge mit der 9H-AMZ durchgeführt: Auf dem ersten Flug mit Start um 6:15 UTC in Malta (LMML) nach Friedrichshafen (EDNY) und auf dem weiteren Flug nach Stuttgart (EDDS) hatte er die Funktion als FO auf dem rechten Sitz wahrgenommen. Anschliessend war er von Stuttgart nach Friedrichshafen in der Funktion als PIC auf dem linken Sitz zurückgeflogen.

Der Kommandant traf sich in Friedrichshafen mit dem FO und führte mit ihm die notwendige Flugplanung für den Weiterflug nach Genf, bei dem ein Kabinenmitarbeiter und zwei Passagiere mit an Bord waren, durch. Die 9H-AMZ war noch mit 13 250 lb Treibstoff Jet A-1 befüllt, so dass aufgrund der für diesen Flug minimal notwendigen Treibstoffmenge vor dem Losrollen (*minimum block fuel*) von 5159 lb nicht nachgetankt werden musste. Die Sicherheitsgeschwindigkeiten für den Start (*V-speed*) und die Referenzgeschwindigkeit für die Landung (*Reference Landing Speed* – V<sub>REF</sub>) bei einer allfälligen Rückkehr nach Friedrichshafen und für den späteren Anflug in Genf sowie die dazu entsprechenden Start- und Landedistanzen wurden berechnet.

# 1.1.3 Flugverlauf

Nach dem Start der 9H-AMZ um 13:15 UTC in Friedrichshafen und einem ereignislosen Flug meldete sich der PM um 13:54:35 UTC bei der Platzverkehrsleitstelle (*Aerodrome Control Tower* – TWR) in Genf. Die 9H-AMZ befand sich zu diesem Zeitpunkt bereits im Anflug mit Hilfe des Instrumentenlandesystems (*Instrument Landing System* – ILS) der Piste 05 rund 12 nautische Meilen (NM) vor der Pistenschwelle auf einer Flughöhe von 5200 ft über dem mittleren Meeresspiegel (*Above Mean Sea Level* – AMSL). Der Flugverkehrsleiter (FVL) wies die 9H-AMZ an, bis auf eine Distanz von 6 NM vor der Pistenschwelle eine angezeigte Fluggeschwindigkeit (*Indicated Airspeed* – IAS) von 160 kt beizubehalten und anschliessend auf die Endanfluggeschwindigkeit zu reduzieren.

Um 13:56:27 UTC wurde einem Verkehrsflugzeug Airbus A319 mit dem Rufzeichen EZY32PZ die Startfreigabe vom Pistenanfang der Piste 05 über den Rollweg (*Taxiway* – TWY) G aus erteilt (vgl. Abbildung 1).

Um 13:57:15 UTC schaltete der PF den Autopiloten der 9H-AMZ aus und flog in der Folge von Hand weiter bis zur Landung. Die 9H-AMZ war bereits mit einer Landeklappenstellung von 30° und ausgefahrenem Fahrwerk für die Landung konfiguriert. Zur etwa gleichen Zeit begann die EZY32PZ den Startlauf vom Pistenanfang der Piste 05.

Um 13:57:41 UTC hob die EZY32PZ kurz vor dem TWY D von der Piste 05 ab. Die 9H-AMZ befand sich zu diesem Zeitpunkt 2.5 NM vor der Pistenschwelle in

einem stabilisierten Endanflug und flog mit einer Geschwindigkeit gegenüber dem Boden (*Ground Speed* – GS) von 122 kt.

Um 13:57:53 UTC erteilte der FVL der 9H-AMZ die Landefreigabe für die Piste 05 und übermittelte gleichzeitig den aktuellen Bodenwind in der Landezone von 210 Grad mit 4 kt.

Um 13:58:52 UTC überflog die 9H-AMZ den Beginn der Piste 05 auf einer Radarhöhe (*Radio Altitude* – RA<sup>3</sup>) von 100 ft und einer IAS von 112 kt. Das Flugzeug befand sich auf dem korrekten Anflugprofil für ein Aufsetzen nach der versetzten Pistenschwelle 05. Auf 50 ft RA zog der PF die Schubhebel in die Leerlaufstellung. 3 Sekunden später um 13:59:01 UTC, auf rund 10 ft RA, wurde eine Höhenruderbewegung aufgezeichnet, die das Ausschweben (*flare*) einleitete.

Die Besatzung beobachtete, wie das Flugzeug kurz nach dem Einleiten des *flare* von einem leichten Aufwind (*updraft*) erfasst wurde. Einige Sekunden später führte die 9H-AMZ eine Rollbewegung um die Längsachse in eine leichte Querlage nach rechts aus, welcher der PF mit einem linken Querruderausschlag entgegenwirkte. Unmittelbar anschliessend führte das Flugzeug, für die Flugbesatzung überraschend, eine plötzliche und heftige Rollbewegung um die Längsachse bis auf eine Querlage von 12.1° nach links und eine leichte Gierbewegung um die Hochachse von 10° nach rechts aus. Der PF steuerte diesen Rollbewegungen sofort mit einem starken, rechten Querruderausschlag entgegen. Gleichwohl berührte die 9H-AMZ, für die Besatzung unbemerkt, mit der linken Flügelspitze die Piste (*wingtip strike*). Das anschliessende Aufsetzen des Flugzeuges auf der Piste erfolgte ohne Querlage.

Der FVL beobachtete aus dem Kontrollturm, wie die 9H-AMZ um 13:59:11 UTC auf Höhe des TWY E wenige Meter über dem Boden plötzlich eine starke Querlage nach links einnahm und dabei möglicherweise mit dem linken Flügel den Boden touchierte. Gleichzeitig nahm der FVL eine weisse Rauchentwicklung unterhalb des Flugzeuges wahr, die üblicherweise beim Aufsetzen des Hauptfahrwerks auf der Piste entsteht.

Zur selben Zeit beobachtete die Flugbesatzung eines Flugzeuges mit dem Flugplankennzeichen EZS56PN, das sich auf dem Standplatz 34 auf dem Vorfeld südlich der Piste befand, wie die 9H-AMZ auf der Höhe des TWY E mit dem linken Flügel den Boden touchierte.

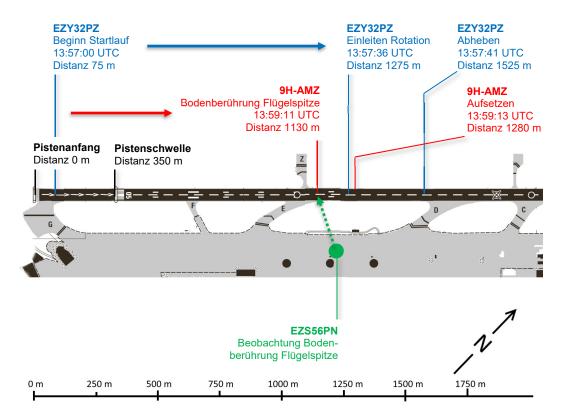
Die vorangehend gestartete A319 befand sich zu diesem Zeitpunkt im Steigflug etwa 3 NM hinter dem Pistenende 05.

Der FVL ordnete unmittelbar nach der Landung der 9H-AMZ eine Inspektion der Piste an, bei der weder Fremdkörper noch Kratzspuren gefunden wurden.

Nach der Landung rollte die 9H-AMZ über das südliche Vorfeld (*Apron South*) zum vorgesehenen Standplatz. Bei der nachfolgenden Sichtkontrolle wurden am äusseren linken Vorflügel (*left outer leading edge slat*) auf der Unterseite starke Kratz- und Schleifspuren entdeckt.

Die Besatzung führte während des gesamten Anfluges alle gemäss *Flight Crew Operating Manual* (FCOM) notwendigen Prüflisten korrekt aus. Die Zusammenarbeit im Cockpit war während des Fluges von einer ruhigen, entspannten und professionellen Arbeitsweise geprägt.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Die Radarhöhe wird vom Radiohöhenmesser (*radio altimeter*) dargestellt, der die exakte Flughöhe des Flugzeuges über Grund mit Hilfe eines Radarverfahrens misst. Der *radio altimeter* in der Global 6000 ist so konzipiert, dass er beim Aufsetzen des Hauptfahrwerkes eine Radarhöhe von 0 ft mit einer Toleranz von +/- 2 ft anzeigt.



**Abbildung 1:** Ansicht des südwestlichen Teils der Piste 05; Positionen der abfliegenden Airbus A319 (EZY32PZ) und der landenden Global 6000 (9H-AMZ). Auf dem südlichen Vorfeld ist die Position des Flugzeuges (EZS56PN) dargestellt, von dem aus die Bodenberührung beobachtet wurde.

# 1.1.4 Ort und Zeit des Unfalls

Unfallort Piste 05 des Flughafens Genf (LSGG)

Datum und Zeit 6. April 2016, 13:59 UTC

Beleuchtungsverhältnisse Tag

Höhe 1407 ft AMSL (429 m AMSL)

#### 1.2 Personenschäden

# 1.2.1 Verletzte Personen

Verletzungen	Besatzungs- mitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	0	0	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	0	0	0	0
Keine	3	2	5	Nicht zutreffend
Gesamthaft	3	2	5	0

# 1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Das Flugzeug wurde durch die Bodenberührung am äusseren Ende des linken äusseren Vorflügels durch Kratz- und Schleifspuren beschädigt (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Linker äusserer Vorflügel in ausgefahrenem Zustand mit Kratz- und Schleifspuren auf der Unterseite

#### 1.4 Drittschaden

Es entstand kein Drittschaden.

# 1.5 Angaben zu Personen

1.5.1 Flugbesatzung

1.5.1.1 Kommandant

1.5.1.1.1 Allgemeines

Person Deutscher Staatsbürger, Jahrgang 1956

Lizenz Verkehrspilotenlizenz für Flugzeuge (Airline

Transport Pilot Licence Aeroplane – ATPL(A)) gemäss der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (European Union Aviation Safety Agency – EASA), ausgestellt durch das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) der Bundesrepublik

Deutschland

Alle vorliegenden Angaben deuten darauf hin, dass der Kommandant seinen Dienst ausgeruht und gesund antrat. Es liegen keine Hinweise vor, dass zum Zeitpunkt des Unfalls Ermüdung eine Rolle gespielt hat.

# 1.5.1.1.2 Flugerfahrung

Gesamthaft 10 467 h / 4027 Landungen davon auf dem Unfallmuster 2341 h / 656 Landungen Während der letzten 90 Tage 77 h / 10 Landungen

davon auf dem Unfallmuster 77 h / 10 Landungen

Während der letzten 24 h 0:55 h / 1 Landung davon auf dem Unfallmuster 0:55 h / 1 Landung

Der PIC hatte auf den Flugzeugvarianten Global Express und Global 5000 insgesamt 2341 Flugstunden und 656 Landungen absolviert. Im November 2015 hatte er im Simulator eine Unterschiedsschulung (difference training) für die Flugzeugvariante Global 6000 absolviert, die aufgrund deren neuen Avionik, dem Global Vision Flight Deck (GVFD), vorgeschrieben war. Der Flug am 6. April 2016 vom Flughafen Friedrichshafen (EDNY) nach Genf (LSGG) war sein erster Flug mit einer Global 6000.

#### 1.5.1.2 Erster Offizier

#### 1.5.1.2.1 Allgemeines

Person Österreichischer Staatsbürger, Jahrgang

1973

Lizenz ATPL(A) gemäss EASA, ausgestellt durch die

Austro Control GmbH in Österrreich

Alle vorliegenden Angaben deuten darauf hin, dass der erste Offizier seinen Dienst ausgeruht und gesund antrat. Es liegen keine Hinweise vor, dass zum Zeitpunkt des Unfalls Ermüdung eine Rolle gespielt hat.

# 1.5.1.2.2 Flugerfahrung

Gesamthaft 4961 h / 3538 Landungen davon auf dem Unfallmuster 330 h / 102 Landungen Während der letzten 90 Tage 38 h / 14 Landungen davon auf dem Unfallmuster 38 h / 14 Landungen Während der letzten 24 h 4:05 h / 4 Landungen davon auf dem Unfallmuster 4:05 h / 4 Landungen

Der erste Offizier hatte bereits praktische Erfahrung auf der Flugzeugvariante Global 6000, dies ebenfalls in der Funktion als verantwortlicher Pilot.

#### 1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

#### 1.6.1 Allgemeine Angaben

Eintragungszeichen 9H-AMZ

Luftfahrzeugmuster BD-700-1A10 (Global 6000)

Charakteristik Zweistrahliges Geschäftsreiseflugzeug mit

Mantelstromtriebwerken, Tragflächen mit 34° Pfeilung und konventioneller Flugsteuerung

Hersteller Bombardier Aerospace Inc.

Baujahr 2016 Werknummer 9656

Eigentümer Chandler 6000 Aviation LLC, 160 Greentree

Drive, Suite 101, Dover, Delaware 19904,

USA

Halter Comlux Malta Ltd., Villa Margherita,

Ta' Xbiex Terrace, Ta' Xbiex XBX 1035, Malta

Triebwerk Zwei Rolls-Royce BR700-710A2-20

Betriebsstunden der Zelle 45:36 h TSN<sup>4</sup>

Anzahl Landungen 17

Masse und Schwerpunkt Sowohl Masse als auch Schwerpunkt befan-

den sich innerhalb der gemäss Luftfahrzeughandbuch (Aircraft Flight Manual – AFM) zu-

lässigen Grenzen.

# 1.7 Meteorologische Angaben

# 1.7.1 Allgemeine Wetterlage

Hinter einer Kaltfront weitete sich ein schmaler Hochdruckausläufer von der Biskaya zur Alpennordseite aus. In der Folge lockerte die Bewölkung entlang des Jurasüdfusses auf.

# 1.7.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des Unfalls

In Genf herrschte trockenes und ziemlich sonniges Wetter mit guter Sicht. Die Grenzschicht war gut durchmischt und damit neutral geschichtet. Oberhalb von rund 3000 ft AMSL wehte der Wind aus Südwest bis West. Auf 10 m Höhe über Grund herrschten variable, schwache Winde.

Wetter/Wolken 1/8-2/8 auf 4300 ft AMSL

3/8-4/8 auf 5300 ft AMSL

Sicht 10 km oder mehr

Wind Variabel mit 2 bis 4 kt (vgl. Kapitel 1.7.4)

Temperatur/Taupunkt 16 °C / 3 °C

Luftdruck QNH 1014 hPa, Druck reduziert auf Meereshöhe,

berechnet mit den Werten der ICAO5-Standardat-

mosphäre.

Gefahren keine

# 1.7.3 Astronomische Angaben

Beleuchtungsverhältnisse Tag

Sonnenstand Azimut 230 Grad Elevation 39 Grad

# 1.7.4 Windmessungen

Auf dem Flughafen Genf wird kontinuierlich der lokale Wind an drei Positionen entlang der Piste gemessen (vgl. Abbildung 3), wobei die Messung an der Position "Center" nicht die Kriterien gemäss ICAO Annex 36 für den *mid-value* der Hartbe-

-

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> TSN: time since new, Betriebsstunden seit Herstellung

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> ICAO: International Civil Aviation Organization, internationale Zivilluftfahrtorganisation

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> ICAO Annex 3: Meteorologische Dienste (Meteorological Service for International Air Navigation)

> lagpiste 05/23 erfüllt, sondern primär für die Graspiste verwendet wird. Die Windmessungen, die im SAMAX7 gespeichert werden, entsprechen jeweils dem während der letzten zwei Minuten gemessenen mittleren Wind.

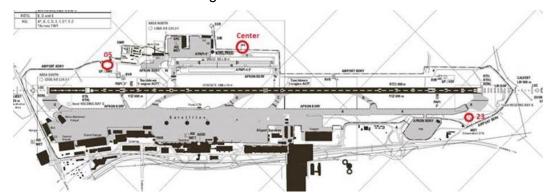


Abbildung 3: Position (rote Kreise) der drei Anemometer 05, Center und 23 für die Windmessungen auf dem Flughafen Genf (LSGG)

Zum Zeitpunkt der Landung der 9H-AMZ wurde an den drei Anemometern der untenstehende Bodenwind gemessen (vgl. Abbildung 4):

Zeitpunkt	Pistenschwelle 05	Pistenmitte "Center"	Pistenschwelle 23
13:57:43 UTC	210° mit 4 kt	040° mit 4 kt	110° mit 4 kt
13:59:11 UTC	250° mit 2 kt	020° mit 4 kt	100° mit 4 kt

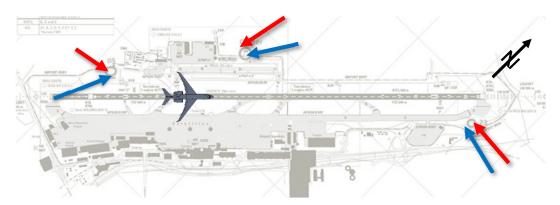


Abbildung 4: Windmessungen in Genf (LSGG) gemäss Bodenradar entlang der Piste 05 zum Zeitpunkt des Abhebens der vorangehend gestarteten A319 in blau und zum Zeitpunkt des wingtip strike der 9H-AMZ in rot; das Flugzeugsymbol stellt die Position dar, bei der die Bodenberührung mit der linken Flügelspitze erfolgte.

#### Navigationshilfen 1.8

Nicht betroffen

#### 1.9 Kommunikation

Der Funkverkehr zwischen den Besatzungen und der Platzverkehrsleitstelle wickelte sich ordnungsgemäss, in englischer Sprache und ohne Schwierigkeiten ab.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> SAMAX: Swiss airport movement area control system, Überwachungsradarsystem für Pisten, Rollwege und Vorfeld

# 1.10 Angaben zum Flughafen

# 1.10.1 Allgemeines

Der Flughafen Genf liegt im Südwesten der Schweiz. Im Jahr 2015 wurde auf ihm ein Verkehrsvolumen von 189 000 Bewegungen abgewickelt.

Die Bezugshöhe des Flughafens beträgt 1411 ft AMSL.

#### 1.10.2 Pistenausrüstung

Die Pisten des Flughafens Genf weisen folgende Abmessungen auf:

Pistenbezeichnung Abmessungen Höhe der Pistenschwellen

05/23 3900 x 50 m 1411 / 1365 ft AMSL

05 Gras / 23 Gras 823 x 30 m NIL

Zum Zeitpunkt des Unfalls stand auf der Piste 05 mit einer versetzten Pistenschwelle (displaced threshold) eine Pistenlänge für eine Landung (Landing Distance Available – LDA) von 3570 m zur Verfügung.

#### 1.11 Flugschreiber

# 1.11.1 Flugdatenschreiber

Muster FA2100

Hersteller L-3 Aviation Recorders

Der digitale Flugdatenschreiber (*Digital Flight Data Recorder* – DFDR) wurde unmittelbar nach dem Unfall aus der 9H-AMZ ausgebaut und im Labor der SUST ausgelesen. Die Aufzeichnungen waren für den gesamten Flug bis nach dem Abstellen der Triebwerke auf dem Vorfeld in Genf abgespeichert.

Die Auswertung der DFDR-Daten zeigte folgendes (vgl. Anlage 1):

- Die 9H-AMZ befand sich in einem stabilisierten ILS-Endanflug auf die Piste 05 mit normaler Anflugkonfiguration, d.h. mit ausgefahrenen Vorflügeln (*slat*) und Landeklappen (*flap*) in der für eine normale Landung maximalen Stellung von 30°.
- Der missweisende Steuerkurs (Magnetic Heading MH) variierte während des Anfluges auf dem ILS 05 zwischen 44.5° und 46.6°. Die Querlage bewegte sich zwischen 2.1° nach links (Left Wing Down – LWD) und 4.4° nach rechts (Right Wing Down – RWD).
- Die IAS betrug vor dem Überfliegen der Pistenschwelle im kurzen Endanflug (short final) 115 kt, die Geschwindigkeit gegenüber dem Boden 120 kt.
- Um 13:58:52 UTC durchflog die 9H-AMZ im Sinkflug eine Radarhöhe (Radio Altitude RA) von 100 ft, die IAS betrug 113 kt.
- Um 13:58:55 UTC wurden auf einer Höhe von 50 ft RA innerhalb von einer Sekunde die Schubhebel auf die Leerlaufstellung zurückgezogen. Etwa zur gleichen Zeit drehte sich das Flugzeug leicht um die Hochachse nach links auf ein MH von 41.2° und die IAS erhöhte sich geringfügig auf 117 kt.
- Um 13:58:59 UTC erhöhte sich mit dem Einleiten des flare auf 10 ft RA die Nicklage (pitch attitude) von 5.1° auf rund 7.3° über dem Horizont (Attitude Nose Up ANU). In der Folge schwebte die 9H-AMZ während rund 4 Sekunden auf einer konstanten Höhe von rund 10 ft RA, bevor sie bei annähernd gleichbleibender pitch attitude von maximal 7.5° ANU wieder leicht abzusinken begann. Die IAS nahm dabei kontinuierlich bis auf 106 kt ab, die Querlage schwankte zwischen 2.6° LWD und 0.2° RWD.

• Um 13:59:06 UTC, auf einer Höhe von 1 ft RA, nahm die 9H-AMZ innerhalb von 3 Sekunden eine Querlage von 4.9° RWD ein. Dieser Rollbewegung um die Längsachse wirkte der PIC mit einem Querruder-Steuerhornausschlag von 25° nach links entgegen. Gleichzeitig nahm die IAS innerhalb von 0.8 Sekunden von 106 kt auf 117 kt zu bei einer leicht abnehmenden GS von 113 kt auf 111 kt, was auf eine positive Windscherung (positive windshear) von rund 13 kt hindeutet.

- Um 13:59:09 UTC drehte sich das Flugzeug innerhalb von 2 Sekunden mit hoher Rollrate um die L\u00e4ngsachse bis zu einer maximalen Querlage von 12.1° LWD, welcher der PIC mit einem starken Steuerhornausschlag von 59° nach rechts entgegenwirkte. Gleichzeitig gierte die 9H-AMZ um 4.8° nach rechts auf ein MH von 46.5°.
- Um 13:59:13 UTC setzte die 9H-AMZ ohne Querlage (wings level) gleichzeitig mit beiden Hauptfahrwerken auf der Piste auf, das Aufsetzen des Bugfahrwerks erfolgte 6 Sekunden später.
- Unmittelbar nach dem Aufsetzen des Hauptfahrwerks wurde eine laterale Beschleunigung von 0.17 g nach rechts gemessen, was darauf hindeutet, dass das Flugzeug in einem leichten Schiebeflugzustand (sideslip) nach links aufsetzte.

# 1.11.2 Sprach- und Geräuschaufzeichnungsgerät

Muster FA2100

Hersteller L-3 Aviation Recorders

Das Sprach- und Geräuschaufzeichnungsgerät (*Cockpit Voice Recorder* – CVR) wurde zusammen mit dem DFDR aus dem Flugzeug ausgebaut und im Labor der SUST ausgelesen. Die Sprachaufzeichnungen waren für den gesamten Flug bis nach dem Abstellen der Triebwerke vorhanden.

# 1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle

Nicht betroffen

# 1.13 Medizinische und pathologische Feststellungen

Es liegen keine Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen oder Ermüdung der Besatzung vor.

#### 1.14 Feuer

Es brach kein Feuer aus.

# 1.15 Überlebensaspekte

Nicht betroffen

# 1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

#### 1.16.1 Simulation der Flugdynamik

In Zusammenarbeit mit dem Flugzeughersteller wurde ein Simulationsmodell der Flugdynamik der Global 6000 erstellt, das bereits für die Zertifizierung der Flugsimulatoren (full flight simulator) der Flugzeugmodelle Global 5000 und Global 6000 verwendet wurde. Mit Hilfe dieses Simulationsmodells konnten Rückschlüsse auf das dynamische Verhalten der 9H-AMZ beim Landevorgang abhängig von den getätigten Steuerruderausschlägen, der gesetzten Triebwerksleistung und den aktuellen Umgebungsbedingungen gezogen werden.

Die Simulationen wurden mit unterschiedlichen Windprofilen in horizontaler und vertikaler Richtung und einem überlagernden, externen Rollmoment durchgeführt und damit die Flugdynamik der 9H-AMZ gemäss den Daten des DFDR möglichst genau abgebildet. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass ein zusätzliches, äusseres Rollmoment auf das Flugzeug eingewirkt haben musste, das sich entweder durch einen lokalen Auftriebsverlust am Flügel (*local loss of lift*) oder auf eine Rotationsbewegung der Luft (*vortex*) erklären liesse.

Mit Hilfe einer vereinfachten Berechnung wurden anhand der in der Simulation auftretenden, lokalen Anstellwinkel entlang der Tragflächen der *local loss of lift* und das daraus resultierende Rollmoment quantitativ abgeschätzt. Die Resultate weisen darauf hin, dass ein *local loss of lift* als mögliche, alleinige Ursache für die hohe Rollrate ausgeschlossen werden kann. Demzufolge musste das Flugzeug bei der Landung von einer Rotationsbewegung der Luft (*vortex*) erfasst worden sein.

# 1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung

# 1.17.1 Allgemeines

Das Flugbetriebsunternehmen hat die Verfahrensvorgaben (*operating procedure*) für die Besatzungen in unterschiedlichen Betriebshandbandbüchern festgehalten. Dazu gehören das Betriebshandbuch (*Operations Manual* – OM) OM A und OM B. Während das OM A allgemeine Verfahrensvorgaben enthält, sind im OM B die für das Flugzeugmuster BD-700 spezifischen Verfahren festgehalten. Im OM B wird auf das AFM und das FCOM des Flugzeugherstellers verwiesen. Als Ergänzung und zu Ausbildungszwecken stellt der Flugzeughersteller zusätzlich ein Online-Trainingsmodul (*eLearning*) mit Verfahrensvorgaben zu Start, Anflug und Landung bei Seitenwindverhältnissen zur Verfügung.

#### 1.17.2 Verfahrensvorgaben

#### 1.17.2.1 Anfluggeschwindigkeit

Gemäss Angaben des Herstellers basiert die normale Anfluggeschwindigkeit, die sogenannte Referenzgeschwindigkeit (*Reference Landing Speed* –  $V_{REF}$ ), für den Flugzeugtyp Global Express, aus der die Global 6000 entwickelt wurde, auf der konservativen  $V_{SMIN}$ -Methode mit  $V_{REF}$  = 1.326 \*  $V_{SMIN}$ 8. Ein Grossteil der Zertifizierung der Global Express wurde ursprünglich mit der  $V_{SR}$ -Methode durchgeführt, die gemäss  $V_{REF}$  = 1.23 \*  $V_{SR}$ 9 eine tiefere Anfluggeschwindigkeit erlaubt. Bei Testflügen mit einer reduzierten Anfluggeschwindigkeit von VREF -5 kt resultierten daraus aufgrund des erhöhten Anstellwinkels allerdings eine eingeschränkte Sicht aus dem Cockpit auf die Landepiste und das Problem, dass die Triebwerkleistung erst unmittelbar vor dem Aufsetzen reduziert werden durfte, um für die Landung die Sinkrate ausreichend brechen zu können. In der Folge wurde in Absprache mit der kanadischen Luftfahrtbehörde *Transport Canada* die Referenzgeschwindigkeit der Global 6000 gemäss  $V_{SMIN}$ -Methode definiert, so dass  $V_{REF}$  etwa 6 bis 8 kt höher liegt als bei der  $V_{SR}$ -Methode.

Die Anfluggeschwindigkeit kann gemäss Tabellen im FCOM und AFM berechnet werden. Bei der Landung in Genf am Tag des Unfalls betrug die  $V_{REF}$  116 kt, was

\_

 $<sup>^8</sup>$  V<sub>SMIN</sub>: non g-corrected stick pusher activation speed, Geschwindigkeit bei der ein automatischer Mechanismus die Steuersäule nach vorne drückt, damit ein drohender Strömungsabriss verhindert wird. V<sub>SMIN</sub> ist 2% grösser als V<sub>SR</sub>.

<sup>9</sup> V<sub>SR</sub>: reference stall speed at 1g, Referenz-Abkippgeschwindigkeit bei 1g-Vertikalbeschleunigung

mit den Angaben auf dem *load sheet*, das der Flugbesatzung zur Verfügung stand, übereinstimmte.

Beim Flugzeugmuster Global 6000 ist die  $V_{REF}$  so definiert, dass ausser den im FCOM und AFM notierten Zuschlägen keine weitere Geschwindigkeitserhöhung erforderlich ist. Gemäss FCOM muss eine Windkorrektur für Windböen (*gust*) vorgenommen werden, wobei die Hälfte der *gust* und maximal 10 kt zur  $V_{REF}$  addiert werden.

Der Hersteller gab ausserdem an, dass die angezeigte Geschwindigkeit beim Einleiten eines normalen *flare* bis zum Aufsetzen des Flugzeuges um etwa 4 % abnimmt. Bei einer V<sub>REF</sub> von 116 kt entspricht dies einer IAS von 111 kt. Bei Testflügen während der Zertifizierungsphase wurde zusätzlich bei einer IAS von 100 kt und einem höheren Flugzeuggewicht als im vorliegenden Fall eine gute Kontrollierbarkeit des Flugzeuges um die Längs- und Hochsachse nachgewiesen; dies auch im Schiebezustand mit voll ausgeschlagenem Seitenruder (*full rudder sideslip*).

#### 1.17.2.2 Landetechnik

Die normale Landetechnik wird im FCOM wie folgt beschrieben:

"At or below 50 ft AGL10:

- 1. Thrust levers ......IDLE
- 2. Airplane attitude ...... Maintain until close to the runway

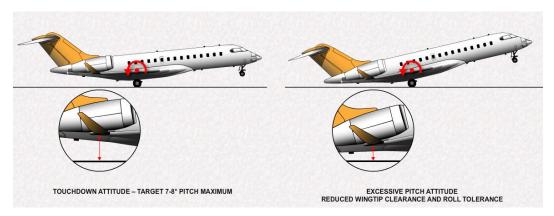
Perform partial flare and touchdown without holding off."

Dies bedeutet das Folgende: Auf einer Flughöhe von 50 ft AGL oder tiefer werden die Schubhebel in die Leerlaufstellung gebracht mit gleichzeitigem Beibehalten der *pitch attitude* des Flugzeuges bis unmittelbar über der Piste. Anschliessend wird ein partieller *flare* eingeleitet, ohne das Aufsetzen des Fahrwerks auf der Piste zu verzögern.

Im FCOM wird bezüglich Seitenwindlandung (*crosswind landing*) zusätzlich folgendes erwähnt: Bei erhöhter Querlage bei der Landung kann die Flügelspitze die Piste berühren. Um dies zu vermeiden, sollte die Querlage auf 3° oder weniger begrenzt werden und das Flugzeug unmittelbar nach dem Ausrichten in Pistenrichtung aufgesetzt werden. Bei einem verlängerten Ausschweben (*prolonged flare*) erhöht der Pilot kontinuierlich die Nicklage des Flugzeugs, so dass sich die Flügelspitzen wegen der starken Pfeilung der Tragflächen näher zum Boden hin bewegen (vgl. Abbildung 5).

Im Online-Trainingsmodul (*eLearning*) des Herstellers wird die Landetechnik bei Seitenwindverhältnissen im Detail beschrieben und insbesondere auf die Problematik eines *wingtip strike* bei hoher Nicklage auf Grund der stark gepfeilten Flügelgeometrie hingewiesen.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> AGL: above ground level, über Grund



**Abbildung 5:** Links ist die Nicklage, die bei einer normalen Landung maximal 7 - 8° beträgt, und der daraus resultierende Abstand der Flügelspitze zum Boden dargestellt. Bei Erhöhung der Nicklage reduziert sich dieser Abstand und die maximal zulässige Querlage wie im rechten Bild gezeichnet (Quelle: *eLearning* von Bombardier).

Die Querlage, bei der eine Flügelspitze den Boden berührt, verringert sich dabei mit zunehmender Nicklage und ist abhängig davon, ob sich das Fahrwerk in ein- (static) oder ausgefedertem (flight) Zustand befindet (vgl. Abbildung 6). Da sich bei einer Landung der Flügelauftrieb sehr schnell abbaut und das Fahrwerk dadurch eingefedert wird, ist der limitierendere static Wert zu berücksichtigen. Beim vorliegenden Unfall betrug die Nicklage des Flugzeuges, bei der der wingtip strike auftrat, rund 4.7°, wodurch sich eine Querlage von 9.0° (static) resp. 11.7° (flight) ergibt.

Mit einem Warnhinweis im *eLearing* wird explizit darauf hingewiesen, dass beim Aufsetzen eine Querlage von mehr als 10.3° mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem *wingtip strike* führt.

WING-STRIKE ROLL ANGLE (STATIC VERSUS FLIGHT)						
Pitch Attitude	Roll Angle (Static) (Gear strut compressed)	Roll Angle (Flight) (Gear strut extended)				
0°	10.6°	13.5°				
3°	9.6°	12.3°				
6°	8.5°	11.2°				
9°	7.4°	10.1°				

**Abbildung 6:** Querlage, bei der die Flügelspitze den Boden berührt (*wing-strike roll angle*), in Abhängigkeit von der Nicklage des Flugzeuges (*pitch attitude*) und ein- oder ausgefedertem Fahrwerk (*static - gear strut compressed* oder *flight – gear strut extended*, Quelle: *eLearning* von Bombardier)

# 1.18 Zusätzliche Angaben

# 1.18.1 Zeitlicher Zerfall von Wirbelschleppen

Bei Wirbelschleppen (wake turbulence) handelt es sich um Turbulenzen, die sich aus unterschiedlichen Gründen in der Luft hinter einem fliegenden Flugzeug bilden. Die beiden Hauptursachen für wake turbulence sind die Randwirbel an den beiden Tragflächenenden (wingtip vortices) und der Abgasstrahl von den Triebwerken (jet wash). Der jet wash erzeugt eine äusserst kräftige und turbulente Luftströmung, die sich aber aufgrund der hohen Energieverluste in starker Turbulenz

innert kurzer Zeit wieder auflöst. Wingtip vortices hingegen sind stabiler und können für mehrere Minuten bestehen bleiben.

Der zeitliche Zerfall der wingtip vortices ist ein komplexer aerodynamischer Prozess, der stark von den atmosphärischen Umgebungsbedingungen beeinflusst wird. In einem turbulenten Windfeld werden die wingtip vortices beispielsweise schnell abgeschwächt. Bei wenig turbulenten, schwachwindigen Situationen ist es hingegen möglich, dass Randwirbel über mehrere Minuten bestehen bleiben.

In einer Studie hat das American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) den zeitlichen Verlauf von wingtip vortices mit Hilfe von Large Eddy Simulations (LES)<sup>11</sup> beschrieben und mit Messungen auf verschiedenen Flugplätzen, die mittels LIDAR<sup>12</sup>-Messungen durchgeführt wurden, verglichen. Aus dieser und weiteren Studien geht hervor, dass der Zerfall der wingtip vortices insbesondere in einer ersten Phase, die bis zu zwei Minuten andauern kann, sehr langsam erfolgt und die in den wingtip vortices gebundene Energie nach dieser Zeitspanne immer noch rund 75 % des ursprünglichen Maximalwertes betragen kann.

#### 1.18.2 Mindeststaffelungsabstände

Um der Gefahr ausgehend von *wake turbulence* zwischen an- resp. abfliegenden Flugzeugen entgegenzuwirken, hat die ICAO entsprechende Richtlinien<sup>13</sup> verfasst, welche die Mindeststaffelungsabstände zwischen zwei Flugzeugen abhängig von deren Wirbelschleppen-Kategorie (*wake turbulence category*)<sup>14</sup> vorgeben. Das Regelwerk der EASA basiert auf diesen Richtlinien und ist vom Verkehrsdienst der Flugsicherung (*Air Traffic Service* – ATS) verbindlich anzuwenden. Erfolgt der ATS mittels eines Überwachungssystems (*surveillance system*), beispielsweise über Radar- oder ADS-B<sup>15</sup>-Daten, basiert der Mindeststaffelungsabstand auf einer Distanz. Existiert kein solches Überwachungssystem, ist der Mindeststaffelungsabstand über eine Zeit definiert. Bei einer versetzten Landeschwelle (*displaced threshold*), wie auf der Piste 05 in Genf, sind spezifische, zeitbasierte Staffelungsabstände vorgegeben. Landet zum Beispiel ein Flugzeug der *wake turbulence category* MEDIUM hinter einem vorangehend gestarteten HEAVY, müssen 2 Minuten Abstand eingehalten werden.

Zwischen Flugzeugen der gleichen wake turbulence category existieren allerdings keine Mindeststaffelungsabstände betreffend wake turbulence. In diesem Fall sind einzig die minimale Radarstaffelung im Endanflug von 3 NM<sup>16</sup> und der Mindeststaffelungsabstand auf der Piste (runway separation minima) einzuhalten. Gemäss letzterem darf ein anfliegendes Flugzeug grundsätzlich erst die Pistenschwelle

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Mit Hilfe von LES lassen sich grosse Wirbelstrukturen (large eddies) numerisch direkt berechnen.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> LIDAR: *Light Detection and Ranging*, Methode zur Erkennung und Messung von Bewegungen in einer Luftmasse mit Hilfe eines Laserstrahls

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> ICAO Doc 4444 Kapitel 8.7.3 "Separation minima based on ATS surveillance systems"

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Die wake turbulence category basiert auf der höchstzulässigen Abflugmasse (Maximum Take-Off Mass – MTOM) eines Flugzeuges und existiert in vier Kategorien: SUPER für die A380, HEAVY für ein MTOM von gleich oder mehr als 136 000 kg, MEDIUM für ein MTOM zwischen 7000 kg und 136 000 kg und LIGHT ein MTOM leichter als oder gleich 7000 kg. In der Schweiz existiert abweichend von dieser Einteilung eine zusätzliche wake turbulence category SMALL für ein MTOM zwischen 7000 kg und 40 000 kg. Die Kategorie MEDIUM umfasst ein MTOM von mehr als 40 000 kg bis 136 000 kg.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> ADS-B: *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*, ein System der Flugsicherung zur Anzeige der Flugbewegungen im Luftraum

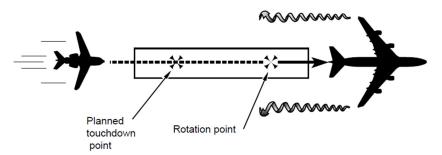
<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Gemäss ICAO ist im Endanflug innerhalb 10 NM von der Pistenschwelle eine reduzierte Radarstaffelung von 2.5 NM erlaubt; dies wird aber in der Schweiz nicht angewandt.

überfliegen, nachdem das vorangegangen gestartete Flugzeug das Pistenende überflogen hat oder von der Piste abgerollt ist.

Davon abweichend ist im Handbuch für das Flugverkehrsmanagement (*Air Traffic Management Manual* – ATMM) des Flughafens Genf (LSGG) dieser *runway separation minima* wie folgt geregelt: Ein vorangehend gestartetes Flugzeug der Kategorie 3<sup>17</sup> muss abgehoben und einen Punkt überflogen haben, der mindestens 2400 Meter hinter der Pistenschwelle für landende Flugzeuge liegt. Eine solche Reduktion des *runway separation minima* ist basierend auf dem Regelwerk der EASA nach einer entsprechenden Risikoabschätzung möglich. Die distanz- oder zeitbasierten Mindeststaffelungsabstände betreffend *wake turbulence* zwischen zwei Flugzeugen bleiben aber bestehen.

Im vorliegenden Fall gehörten sowohl das startende Flugzeugmuster A319 als auch das landende Flugzeugmuster Global 6000 der gleichen *wake turbulence category* MEDIUM an, in welche Flugzeuge der Gewichtsklasse zwischen 40 t und 136 t eingeordnet werden.

Es existieren ausserdem allgemeine Empfehlungen für die Situation mit einem startenden und einem dahinter landenden Flugzeug. Beispielsweise empfiehlt die Amerikanische Flugaufsichtsbehörde (*Federal Aviation Authority* – FAA), einen geplanten Aufsetzpunkt (*planned touchdown point*) auf der Piste, der vor dem Rotationspunkt (*rotation point*) des voran gestarteten Flugzeuges liegt (vgl. Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Landung hinter einem vorangehend gestarteten Flugzeug einer höheren Gewichtsklasse (Quelle: *Pilot and Air Traffic Controller Guide to Wake Turbulence*, FAA)

#### 1.18.3 Weitere Vorfälle

Im Jahr 2014 wurden von der britischen Flugunfall-Untersuchungsbehörde (*Air Accidents Investigation Branch* – AAIB) zwei Vorfälle mit dem Flugzeugmuster Global 6000 untersucht, bei denen bei der Landung in Seitenwindbedingungen mit einer Seitenwindkomponente von 11 kt resp. 9 kt ein *wingtip strike* auftrat.

In beiden Fällen wurde das Flugzeug vom PF auf einer Höhe von rund 85 ft RA verfrüht in Pistenrichtung ausgerichtet (*de-crab*). In der Folge wurden während des *flare*, der bereits auf rund 50 ft RA eingeleitet wurde, kontinuierlich weitere Hinund Herbewegungen der Seitenruderpedale beobachtet und gleichzeitig die *pitch attitude* auf bis zu 11.7° ANU resp. knapp unter 10° ANU erhöht (*prolonged flare*). Bei einer IAS von 106 kt resp. 103 kt begann das Flugzeug eine plötzliche, heftige Rollbewegung um die Längsachse, die auch mit einem sofortigen, entgegengesetzten Querruderausschlag nicht gestoppt werden konnte, so dass die Flügelspitze bei einer Querlage von 11.8° RWD resp. 8.8° LWD die Piste berührte. In beiden Fällen konnte sich die Flugbesatzung die schnelle Bewegung um die

-

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Gemäss ICAO Doc 4444 Kapitel 7.11 resp. ATMM in Genf gehören Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht von 7000 kg oder mehr der Kategorie 3 an.

Längsachse nur mit einer heftigen Windböe erklären, die das Flugzeug kurz über dem Boden erfasst haben musste. Sie empfanden die Querlage als nicht übermässig hoch und bemerkten in der Folge den wingtip strike nicht.

Im Zuge der Untersuchung der AAIB ergänzte der Flugzeughersteller das FCOM und *eLearning* der Global 6000 mit Leitlinien (*guidance*) für Landungen bei Seitenwindbedingungen. Insbesondere wird darin hervorgehoben, dass der *de-crab* erst kurz vor dem Aufsetzen mit den Seitenruderpedalen eingeleitet werden und die Landung in der Folge ohne Querlage unverzögert erfolgen soll.

# 1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Nicht betroffen

# 2 Analyse

# 2.1 Technische Aspekte

Es liegen keine Anhaltspunkte für vorbestehende technische Mängel vor, die den Unfall hätten beeinflussen können.

# 2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

## 2.2.1 Flugverlauf

Beim Anflug auf die Piste 05 in Genf lag die Landemasse der 9H-AMZ mit 29.0 t deutlich unterhalb der höchsten, zulässigen Landemasse und der Schwerpunkt befand sich in einer mittleren Schwerpunktlage. Die Referenzgeschwindigkeit bei der Landung ( $V_{REF}$ ) war aufgrund der geringen Landemasse relativ niedrig und betrug 116 kt. Die Konfiguration für den Anflug wurde frühzeitig erstellt und das Flugzeug befand sich bis zum Einleiten des *flare* in einem stabilisierten Endanflug.

Auf einer Radarhöhe (*Radio Altitude* – RA) von rund 100 ft betrug die angezeigte Geschwindigkeit (*Indicated Airspeed* – IAS) 116 kt, was der richtig berechneten Referenzgeschwindigkeit entsprach. Der PF zog die Schubhebel auf einer RA von rund 50 ft in die Leerlaufstellung zurück, was den Vorgaben aus dem FCOM entspricht, und erhöhte zum Einleiten des *flare* in einer RA von rund 10 ft die *pitch attitude* des Flugzeuges von 5.1° ANU auf 7.3° ANU.

In der Folge flog die 9H-AMZ während rund 4 Sekunden auf annähernd gleicher Höhe weiter, während dem der PF die *pitch attitude* konstant hielt, und sank dann langsam weiter ab. Die IAS reduzierte sich in dieser Phase kontinuierlich bis auf 105 kt, was deutlich unter der Geschwindigkeit von 111 kt liegt, bei der das Flugzeug gemäss Hersteller beim Einleiten eines normalen Ausschwebens (*flare*) auf der Piste aufsetzen würde.

Der kurze Horizontalflug und die daraus resultierende niedrige Fluggeschwindigkeit deuten darauf hin, dass das Einleiten des *flare* zu ausgeprägt erfolgte und daraus ein verlängertes Ausschweben (*prolonged flare*) resultierte. Dies entspricht nicht dem im FCOM beschriebenen Verfahren für eine normale Landung, wonach die *pitch attitude* bis in unmittelbare Nähe der Piste beibehalten und anschliessenden nach einem partiellen *flare* unverzögert aufgesetzt werden.

Die Flugbesatzung hatte wahrgenommen, wie das Flugzeug nach dem Einleiten des flare von einem leichten Aufwind erfasst wurde. Die Erhöhung der pitch attitude während des flare auf maximal 7.5°, die der PF mittels Höhenrudereingabe steuerte, entsprach dabei einem üblichen Wert für eine normale Landung. In der vorliegenden Situation, wo das Flugzeug nach Einleiten des flare zusätzlich von einem leichten Aufwind erfasst wurde, war sie zu ausgeprägt, was in der Folge den prolonged flare erklären würde.

Der Hersteller hatte bei Testflügen während der Zertifizierungsphase mit der Global 6000 nachgewiesen, dass auch bei einer IAS von 100 kt und einem höheren Flugzeuggewicht als im vorliegenden Fall das Flugzeug um die Längs- und Hochachse gut kontrollierbar blieb, weshalb die tendenziell geringe Geschwindigkeit kurz vor dem Aufsetzen als auslösender Faktor für den weiteren Verlauf des Unfalls ausgeschlossen werden kann.

Unmittelbar über der Piste, auf einer RA von 1 ft, wurde die 9H-AMZ von einer plötzlichen, starken positiven Windscherung von 13 kt erfasst und führte gleichzeitig eine Rollbewegung um die Längsachse in eine leichte Querlage nach rechts aus, welcher der PF mit einem sofortigen, angemessenen Querruderausschlag nach links entgegenwirkte. In der Folge beobachtete die Besatzung, wie das Flugzeug bis auf rund 3 ft RA angehoben wurde, mit hoher Rollrate in eine Querlage

nach links rollte und dabei leicht nach rechts gierte. Der PF wirkte der Rollbewegung um die Längsachse mit einem starken Querruderausschlag, der angemessen war, nach rechts entgegen, konnte aber das Berühren der linken Tragflächenspitze mit der Piste (wingtip strike) nicht verhindern. Während des gesamten Ausschwebens deutete nichts darauf hin, dass das Flugzeug kurz vor dem Aufsetzen diesen plötzlichen, heftigen Rollbewegungen ausgesetzt sein würde. Es ist deshalb plausibel, dass die Besatzung von der unvermittelten Zunahme der Querlage überrascht wurde.

Eine solch heftige Windscherung lässt sich nicht anhand der vorherrschenden, ruhigen Wetterbedingungen mit gemessenen Windgeschwindigkeiten von maximal 4 kt erklären und trat für die Flugbesatzung aus diesem Grund unerwartet auf.

Die Hypothese, dass sich die starken Rollbewegungen um die Längsachse auf einen lokalen Auftriebsverlust an den Tragflächen hätten zurückführen lassen, wurde mit Hilfe einer technischen Analyse erörtert. Mit einem Simulationsmodell der Flugdynamik der Global 6000 wurde aufgezeigt, dass ein lokaler Auftriebsverlust an den Tragflächen höchstens einen geringen Beitrag zur heftigen Rollbewegung um die Flugzeuglängsachse geleistet haben konnte. Die Simulationsergebnisse ergaben, dass ein zusätzliches, durch äussere Umgebungsbedingungen hervorgerufenes Drehmoment auf das Flugzeug eingewirkt haben musste. Eine derart turbulente und rotierende Luftmasse liess sich nicht mit den aktuellen, ruhigen Wetterbedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls erklären.

Um 13:57:00 UTC, rund 130 Sekunden vor dem Aufsetzen der 9H-AMZ, begann eine Airbus A319 mit dem Flugplankennzeichen EZY32PZ vom Pistenanfang 05 ihren Startlauf. Die Distanz vom Pistenanfang bis zum Punkt, bei dem die Rotation eingeleitet wurde, betrug rund 1275 m resp. rund 945 m von der versetzten Pistenschwelle für landende Flugzeuge aus (vgl. Abbildung 1). Die A319 hob um 13:57:41 UTC bei einer Distanz vom Pistenanfang von 1575 m ab. Mit der Vergrösserung des Anstellwinkels während der Rotation erhöhten sich die Randwirbel an den beiden Tragflächenenden (wingtip vortices) markant und erreichten beim Abheben ein Maximum.

Die 9H-AMZ berührte rund 90 Sekunden nach dem Abheben der A319 mit der linken Flügelspitze die Piste bei einer Distanz von rund 800 m nach der versetzten Pistenschwelle und etwa 145 m vor der Position, an der die A319 die Rotation eingeleitet hatte. Auf der Piste 05 in Genf mit einer versetzten Pistenschwelle von 330 m erstreckt sich die Landezone (touchdown zone) bis rund 1250 m hinter dem Pistenanfang. Bei einer Landung mit verlängertem Ausschweben kann es also vorkommen, dass das Flugzeug erst am Ende der touchdown zone in dem Pistenbereich aufsetzt, in dem ein vorangehend gestartetes Flugzeug die Rotation eingeleitet oder bereits abgehoben hat.

Die Windmessungen entlang der Piste zeigten schwachwindige Verhältnisse aus unterschiedlichen Himmelsrichtungen (vgl. Kapitel 1.7.4). Eine thermische Ablösung würde keine plötzliche Windscherung von 13 kt erklären. Es deutet deshalb alles darauf hin, dass aufgrund dieser schwachwindigen Verhältnisse die *wingtip vortices* der vorangehend gestarteten A319 über eine längere Zeit bestehen blieben, sich über der Piste halten und in Richtung des Aufsetzpunktes der 9H-AMZ verschieben konnten. Theoretische und experimentelle Untersuchungsergebnisse zeigen, dass *wingtip vortices* insbesondere bei wenig turbulenten Bedingungen über mehrere Minuten bestehen bleiben können und sich dabei nur sehr langsam abschwächen.

Basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen ist die wahrscheinlichste Erklärung für die Entstehung des Unfalls, dass die 9H-AMZ während des verlängerten Ausschwebens durch die wingtip vortices der vorangehend gestarteten Airbus A319

erfasst und einer starken Rollbewegung um die Längsachse nach rechts und kurz darauf nach links ausgesetzt wurde.

Die Geometrie der Global 6000 mit ihrer starken Flügelpfeilung begünstigte einen wingtip strike bereits bei einer geringen Querlage, obwohl das Flugzeug mit nur leicht erhöhter pitch attitude flog.

# 2.2.2 Flugbesatzung

Der PIC führte am 6. April 2017 seinen ersten Flug mit der Flugzeugvariante Global 6000 durch, nachdem er 5 Monate vorher ein *difference training* dafür absolviert hatte, das aufgrund der neuen Avionik vorgeschrieben war. Er hatte weitreichende Erfahrung auf den beiden anderen Varianten der Bombardier Global Flugzeugfamilie, der Global Express und der Global 5000, die alle mit der gleichen Musterberechtigung geflogen werden dürfen. Mit diesen Flugzeugen hatte er gesamthaft 2341 Stunden und 656 Landungen absolviert. Da die Flugeigenschaften der unterschiedlichen Flugzeugvarianten nahezu identisch sind, dürfte die Tatsache, dass der PIC seinen ersten Flug auf einer Global 6000 durchführte, keinen Einfluss auf den Verlauf des Unfalls gehabt haben.

Der FO, der als assistierender Pilot bei der Landung in Genf auf dem rechten Sitz sass, war mit der Variante Global 6000 bereits mehrfach und von beiden Sitzen aus geflogen. Er hatte die 9H-AMZ zwei Tage vor dem Unfall aus den Vereinigten Staaten nach Malta überführt und am Vormittag des 6. April 2016 drei weitere Flüge ausgeführt und verfügte daher über ein ausreichendes aktuales Training.

# 2.2.3 Mindeststaffelungsabstände

Da die Flugzeugmuster der startenden A319 als auch der landenden Global 6000 der gleichen wake turbulence category MEDIUM (vgl. Kapitel 1.18.2) zugeordnet sind, musste kein Mindeststaffelungsabstand betreffend wake turbulence eingehalten werden. Der Umstand, dass die 9H-AMZ von der wake turbulence der vorangehend gestarteten A319 erfasst worden sein musste (vgl. Kapitel 2.2.1), zeigt, dass das Fehlen einer entsprechenden Mindeststaffelungsvorgabe bei den vorherrschenden schwachwindigen und wenig turbulenten Wetterverhältnissen risikobehaftet ist. Aus diesem Grund wurden Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen (vgl. Kapitel 4.1).

Der Mindeststaffelungsabstand für die Piste (runway separation minima), der primär der Kollisionsverhinderung dient, kam hingegen zur Anwendung. Zum Zeitpunkt des Aufsetzens der 9H-AMZ befand sich die A319 bereits in einer Entfernung von 3 NM hinter dem Pistenende 05 resp. 9100 m hinter der Pistenschwelle 05 für landende Flugzeuge. Der im Handbuch für das Flugverkehrsmanagement (Air Traffic Management Manual – ATMM) des Flughafens Genf (LSGG) festgelegte Mindeststaffelungsabstand zwischen einem vorangehend gestarteten Flugzeug der Kategorie 3 und einem nachfolgend landenden Flugzeug von mindestens 2400 Meter wurde deshalb eingehalten.

# 3 Schlussfolgerungen

#### 3.1 Befunde

#### 3.1.1 Technische Aspekte

- Das Flugzeug war zum Verkehr nach IFR zugelassen.
- Sowohl Masse als auch Schwerpunkt des Flugzeuges befanden sich zum Unfallzeitpunkt innerhalb der gemäss AFM zulässigen Grenzen.
- Die Untersuchung ergab keine Anhaltspunkte für vorbestehende, technische Mängel, die den Unfall hätten beeinflussen können.

#### 3.1.2 Besatzung

- Die Flugbesatzung besass die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Beeinträchtigungen der Piloten während des Unfalls vor.
- Die Zusammenarbeit im Cockpit war von einer ruhigen, entspannten und professionellen Atmosphäre geprägt.

# 3.1.3 Flugverlauf

- Das als 9H-AMZ eingetragene Geschäftsreiseflugzeug vom Typ BD-700-1A10 (Global 6000) befand sich auf einem stabilisierten Endanflug auf die Piste 05 des Flughafens Genf (LSGG).
- Rund 90 Sekunden vor der Landung der 9H-AMZ hob eine Airbus A319 auf der Piste 05 im Bereich des TWY D von der Piste ab. Zu diesem Zeitpunkt befand sich die 9H-AMZ rund 2.5 NM vor der Pistenschwelle.
- Auf einer Radarhöhe von 50 ft RA zog der PF die Schubhebel in die Leerlaufstellung.
- Auf 10 ft RA erhöhte der PF für das Ausschweben (*flare*) die Nicklage (*pitch attitude*) um rund 2° auf 7.3° ANU.
- Die 9H-AMZ schwebte in der Folge für 4 Sekunden auf gleicher Höhe horizontal weiter, bevor sie weiter bis auf 1 ft RA absank.
- Auf rund 1 ft RA wurde das Flugzeug von einer positiven Windscherung von 13 kt erfasst und rollte gleichzeitig auf eine Querlage von 4.9° RWD, worauf der PF mit einem sofortigen Querruderausschlag von 25° nach links gegensteuerte.
- Innerhalb der folgenden 2 Sekunden nahm die 9H-AMZ mit hoher Rollrate eine Querlage von 12.1° LWD ein, welcher der PF mit einem starken Steuerhornausschlag von 59° nach rechts entgegenwirkte. Gleichzeitig gierte die 9H-AMZ um 4.8° nach rechts.
- In diesem Moment berührte das Flugzeug mit der linken Flügelspitze die Piste und wurde dabei am Ende des äusseren Vorflügels leicht beschädigt.
- Nach weiteren 2 Sekunden setzte die 9H-AMZ ohne Querlage mit beiden Hauptfahrwerken an der Position auf der Piste auf, an der vor knapp 90 Sekunden die vorangehend gestartete A319 die Rotation eingeleitet hatte.

 Zum Zeitpunkt des Aufsetzens der 9H-AMZ befand sich die A319 bereits in einer Entfernung von 3 NM hinter dem Pistenende 05 resp. 9100 m hinter der Pistenschwelle 05 für landende Flugzeuge.

# 3.1.4 Rahmenbedingungen

- Zum Zeitpunkt der Landung der 9H-AMZ herrschten schwachwindige Wetterverhältnisse.
- Im FCOM der Global 6000 im Kapitel über die normale Landetechnik wird darauf hingewiesen, dass der flare erst unmittelbar in Pistennähe und nur partiell eingeleitet werden soll, damit das Flugzeug sofort aufsetzt.
- Der reduzierte Mindeststaffelungsabstand für die Piste (reduced runway separation minima), der im Handbuch für das Flugverkehrsmanagement (Air Traffic Management Manual – ATMM) des Flughafens Genf (LSGG) festgelegt ist, wurde zwischen der vorangehend gestarteten A319 und der 9H-AMZ eingehalten.

#### 3.2 Ursachen

Der Unfall, bei dem ein Geschäftsreiseflugzeug mit einer Flügelspitze die Piste berührte (wingtip strike), ist auf eine zu hohe Querlage beim Ausschweben (flare) zurückzuführen. Als wahrscheinlichste Ursache für die hohe Querlage wurde die Wirbelschleppe (wake turbulence) eines vorangehend auf der Piste gestarteten Verkehrsflugzeuges ermittelt, die das Geschäftsreiseflugzeug in eine Rollbewegung um die Längsachse versetzten.

Der Unfall konnte aufgrund eines Zusammenwirkens folgender Faktoren entstehen:

- Schwachwindige Wetterverhältnisse, die den zeitlichen Zerfall von wingtip vortices verzögerten;
- Ein längeres Ausschweben (*prolonged flare*) in Bodennähe, was zu einem Aufsetzen am Ende der Landezone bei geringer Fluggeschwindigkeit führte:
- Ein zu geringer Abstand zwischen der versetzten Pistenschwelle und dem Rotationspunkt eines vorangehend gestarteten Flugzeuges.

.

# 4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

# 4.1 Sicherheitsempfehlungen

Nach Vorgabe des Anhangs 13 der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organisation* – ICAO) sowie Artikel 17 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 zur Aufhebung der Richtlinie 94/56/EG richten sich alle Sicherheitsempfehlungen, die in diesem Bericht aufgeführt sind, an die Aufsichtsbehörde des zuständigen Staates, der darüber zu entscheiden hat, inwiefern diese Empfehlungen umzusetzen sind. Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Flugsicherheit anzustreben.

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) bezüglich Sicherheitsempfehlungen folgende Regelung vor:

# "Art. 48 Sicherheitsempfehlungen

- <sup>1</sup> Die SUST richtet die Sicherheitsempfehlungen an das zuständige Bundesamt und setzt das zuständige Departement über die Empfehlungen in Kenntnis. Bei dringlichen Sicherheitsproblemen informiert sie umgehend das zuständige Departement. Sie kann zu den Umsetzungsberichten des Bundesamts zuhanden des zuständigen Departements Stellung nehmen.
- <sup>2</sup> Die Bundesämter unterrichten die SUST und das zuständige Departement periodisch über die Umsetzung der Empfehlungen oder über die Gründe, weshalb sie auf Massnahmen verzichten.
- <sup>3</sup> Das zuständige Departement kann Aufträge zur Umsetzung von Empfehlungen an das zuständige Bundesamt richten."

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes oder von ausländischen Aufsichtsbehörden unter www.sust.admin.ch und erlaubt so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

#### 4.1.1 Gefahr von Wirbelschleppen

#### 4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Ein Geschäftsreiseflugzeug berührte bei der Landung mit einer Flügelspitze die Piste (wingtip strike). Als wahrscheinlichste Ursache wurde die Wirbelschleppe (wake turbulence) eines vorangehend auf derselben Piste gestarteten Verkehrsflugzeuges ermittelt.

Als risikobehaftet wurde erkannt, dass keine Mindeststaffelungsvorgaben betreffend wake turbulence zwischen einem vorangehend gestarteten und einem landenden Flugzeug existieren. Zudem bestehen generell keine Mindeststaffelungsvorgaben betreffend wake turbulence zwischen Flugzeugen der gleichen Gewichtskategorien. Im Fall der Gewichtskategorie MEDIUM umfasst dies gemäss

Regelwerk der EASA alle Flugzeuge mit einer höchstzulässigen Abflugmasse (*Maximum Take-Off Mass* – MTOM) zwischen 7 t und 136 t.<sup>18</sup>

# 4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 558

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) sollte zusammen mit der Flugsicherung und dem Flughafenbetreiber von Genf geeignete Massnahmen ergreifen, welche die Gefährdung eines landenden Luftfahrzeuges durch die Wirbelschleppe eines vorangehend gestarteten Luftfahrzeuges reduzieren.

#### 4.1.1.3 Sicherheitsempfehlung Nr. 559

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) sollte zusammen mit der Flugsicherung und den Betreibern aller Landes- und Regionalflughäfen der Schweiz die bestehenden Betriebsverfahren betreffend die Gefährdung durch Wirbelschleppen überprüfen.

#### 4.1.1.4 Sicherheitsempfehlung Nr. 560

Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (*European Aviation Safety Agency* – EASA) sollte die zu wenig differenzierte Mindeststaffelung betreffend *wake turbulence*, insbesondere bei versetzter Pistenschwelle, überdenken und entsprechend anpassen.

#### 4.2 Sicherheitshinweise

Keine

#### 4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Die Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt (EUROCONTROL) hat in Absprache mit ihren Stakeholdern eine Neukategorisierung der Mindeststaffelung betreffend wake turbulence für anfliegende resp. abfliegende Luftfahrzeuge entwickelt. Das RECAT-EU genannte Verfahren basiert darauf, dass bei der Beurteilung der Stärke und der Ausbreitung der wake turbulence eines Flugzeuges neben dessen Gewicht auch andere Eigenschaften, wie beispielsweise die Fluggeschwindigkeit oder Flügelspannweite, berücksichtigt werden. Zusätzlich wird in die Neukategorisierung das spezifische Verhalten eines Flugzeugmusters beim Einflug in eine wake turbulence miteinbezogen.

Dies führt zu einer Aufteilung in neu sechs Kategorien (CAT A «Super Heavy» bis CAT F «Light»), in die Flugzeugmuster gemäss deren Charakteristiken eingeteilt werden. Daraus ergeben sich zum Teil geringere Mindeststaffelungen zwischen gewissen Flugzeugmustern, was zu einer Kapazitätserhöhung auf Flugplätzen führt. Umgekehrt erhöhen sich bestimmte Mindeststaffelungen, was insbesondere bei kleineren Flugzeugmustern zu einer Erhöhung der Sicherheit führt.

Eine Mindeststaffelung betreffend wake turbulence zwischen einem vorangehend gestarteten und einem anfliegenden Flugzeug wird mit RECAT-EU nicht vorgegeben.

RECAT-EU kommt aktuell auf einigen europäischen Flugplätzen wie beispielsweise Paris-CDG (LFPG) oder Leipzig-Halle (EDDP) zur Anwendung.

-

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> In der Schweiz existiert abweichend von dieser Einteilung eine zusätzliche *wake turbulence category* SMALL für ein MTOM zwischen 7000 kg und 40 000 kg. Die Kategorie MEDIUM umfasst ein MTOM von mehr als 40 000 kg bis 136 000 kg.

Dieser Schlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 10 lit. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 15. September 2020

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

# **Anlagen**

# **Anlage 1: Datenauswertung DFDR**

